



**TUGAS AKHIR - TM091585**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KECEPATAN  
*CARRYING AIR BLOWER* TERHADAP LAJU PEMBAKARAN  
BAHAN BAKAR BATUBARA**

**ALDO NURSATRIA  
NRP. 2111 106 008**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Eddy Harmadi Tjokrowisastro, ME.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**TUGAS AKHIR - TM091585**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KECEPATAN  
*CARRYING AIR BLOWER* TERHADAP LAJU PEMBAKARAN  
BAHAN BAKAR BATUBARA**

**ALDO NURSATRIA  
NRP. 2111 106 008**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Eddy Harmadi Tjokrowisastro, ME.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM091585**

**EXPERIMENTAL STUDY EFFECT SPEED OF CARRYING  
AIR BLOWER VARIATION ABOUT RATE OF COAL FUEL  
COMBUSTION**

**ALDO NURSATRIA  
NRP. 2111 106 008**

**Academic Supervisor  
Ir. EDDY HARMADI TJOKROWISASTRO, ME.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM091585**

**EXPERIMENTAL STUDY EFFECT SPEED OF CARRYING  
AIR BLOWER VARIATION ABOUT RATE OF COAL FUEL  
COMBUSTION**

**ALDO NURSATRIA  
NRP. 2111 106 008**

**Academic Supervisor  
Ir. EDDY HARMADI TJOKROWISASTRO, ME.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KECEPATAN *CARRYING AIR BLOWER* TERHADAP LAJU PEMBAKARAN BAHAN BAKAR BATUBARA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Konversi Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Aldo Nursatria**  
Nrp. 2111 106 008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir.Eddy Harmadi Tjokrowisastro, ME.....(Pembimbing I)  
(NIP. 19500314 197803 1 001)
2. Ir. Witantyo „M Eng.,Sc.....(Penguji I)  
(NIP. 19630314 198803 1 002)
3. Bambang Arif D. ST.,M Eng, PhD.....(Penguji II)  
(NIP. 19780401 200212 1 001)
4. Dr.Bambang Sudarmanta ST, MT.....(Penguji III)  
(NIP. 19730116 199702 1 001)

**SURABAYA**  
**Januari, 2015**

# **STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KECEPATAN *CARRYING AIR BLOWER* TERHADAP LAJU PEMBAKARAN BAHAN BAKAR BATUBARA**

Nama Mahasiswa : Aldo Nursatria  
NRP : 2111 106 008  
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Harmadi Tjokrowisastro, ME.

## **ABSTRAK**

*Coal-oil burner telah dikemukakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak solar selama proses pembakaran (firing) pada start-up boiler dimana minyak solar dan batubara sebagai bahan bakar utamanya. Konsumsi bahan bakar minyak solar hanya digunakan untuk membantu penyalaan pada bahan bakar batubara yang dilakukan secara bertahap untuk mendapatkan nyala api yang diperlukan. Nyala api yang terjadi dipengaruhi oleh lamanya waktu bahan bakar batubara dapat terbakar dengan baik.*

*Pada tugas akhir ini, dirancang sebuah model sistem dinamakan coal-oil burner dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi dari proses pembakaran pada start-up boiler. Sistem coal-oil burner tersebut memiliki dua bagian, bagian pertama adalah sistem aliran pipa sebagai tempat bercampurnya bahan bakar (coal) dan udara yang dilengkapi venturi dengan ukuran diameter 40mm - 100mm. Bagian kedua adalah sistem aliran pipa sebagai tempat mengalirkan secondary air serta ignitor dari coal-oil burner untuk menyalakan bahan bakar dengan ukuran diameter pipa ( $d$ ) sebesar 100mm serta panjang pipa ( $p$ ) sebesar 1005mm. Bagian ini terdapat 2 chamber, masing - masing mempunyai fin dengan kemiringan 60 derajat, serta open chamber dimana proses nyala api diukur. Untuk pengukuran kecepatan carrying air yang divariasikan, digunakan anemometer sebagai alat ukurnya. Serta untuk mengetahui kecepatan swirler*

*air blower digunakan pitot tube sebagai alat ukurnya dan swirler air tersebut bersifat konstan. Setelah nyala api stabil, akan diambil data panjang nyala api, waktu habisnya bahan bakar batubara dengan massa 2kg, serta laju pembakaran per satuan panjang nyala dengan variasi kecepatan carrying air.*

*Hasil yang diperoleh dari penelitian ini bahwa nilai rasio udara dan bahan bakar yang diperoleh dalam chamber 1 : 3.528 dengan kecepatan 13.7 m/s serta laju pembakaran per satuan panjang nyala api yang paling besar adalah 86.387 kg/h.m dengan kecepatan carrying air sebesar 17.2 m/s. Sehingga semakin tinggi laju pembakaran maka semakin besar konsumsi bahan bakar batubara serta semakin tinggi pula turbulensi nyala yang mengakibatkan peningkatan masuknya oksigen kedalam nyala api dan pencampuran antarra oksigen dan bahan bakar sehingga meningkatkan laju pembakaran.*

**Kata kunci:** *bahan bakar batubara; bahan bakar minyak solar; laju pembakaran; coal-oul burner; start-up*

# **EXPERIMENTAL STUDY EFFECT SPEED OF CARRYING AIR BLOWER VARIATION ABOUT RATE OF COAL FUEL COMBUSTION**

Name : Aldo Nursatria  
NRP : 2111 106 008  
Major : Mechanical Engineering  
Supervisor : Ir. Eddy Harmadi Tjokrowisastro, ME.

## **ABSTRACT**

*Coal-oil burner has been proposed to reduce the consumption of diesel fuel during the combustion process (firing) in the start-up of the boiler where the diesel oil and coal as its primary fuel. Consumption of diesel fuel is only used to assist the coal fuel ignition is achieved in stages to obtain the required flame. The flame that occur are influenced by the length of time the fuel can be burned coal well.*

*In this thesis, we designed a system model called coal-oil burner in an effort to improve the efficiency of the combustion process in the boiler start-up. Coal-oil burner system has two parts, the first part is a pipe flow system as a mixing of fuel (coal) and venturi air equipped with a diameter of 40mm - 100mm. The second part is a pipe flow system as a secondary air flow as well as the ignitor of coal-oil burner to ignite the fuel with the size of the pipe diameter (d) of 100mm and length of pipe (p) of 1005mm. This section there are two chambers, respectively - each have a fin with a slope of 60 degrees, and an open chamber where the flame was measured. For the measurement of air velocity anemometer used to varied the speed of pulverized coal. As well as to determine the speed of the blower air swirler pitot tube used as a measuring tool. Once the flame is stable, the data will be taken flame length, time of coal to fuel exhaustion of mass 2kg, as well as the burning rate per unit length of the flame with speed of carrying air variation.*



*The results from the study that the value of the ratio of air and fuel obtained in chamber 1: 3.528 with speed 13.7 m / s as well as the rate of burning per a unit of length flame most are 86.387 kg per h.m with speed carrying of air by 17.2 m / s. so that the higher the rate of burning fuel consumption the more large coal as well as the higher flame also turbulence results in an increase of oxygen into the entrance of a flame of fire and mixing between oxygen and fuel so as to increase the rate of burning .*

**Keyword : coal fuel; diesel fuel; burning rate; coal-oil burner; start-up**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas ke hadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

### **“ STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KECEPATAN *CARRYING AIR BLOWER* TERHADAP LAJU PEMBAKARAN BAHAN BAKAR BATUBARA “**

Dalam penyusunan tugas akhir ini bukan semata karena kemampuan penyusun, tapi juga karena adanya campur tangan berbagai pihak yang mau meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam penyelesaian tugas akhir ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Eddy H. Tjokrowisastro, ME., selaku dosen pembimbing yang telah membantu dalam bimbingan, memberikan saran, motivasi serta memberikan ilmu - ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
2. Bapak Arif Wahyudi, ST., MT., Ph.D, selaku koordinator tugas akhir Jurusan Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak Ir. Sudjud Darsopuspito, MT., selaku dosen wali.
4. Ayahanda dan Ibunda tercinta serta seluruh keluarga tersayang, terima kasih atas doa, kasih sayang dan seluruh dukungannya.
5. Bapak / Ibu dosen, seluruh karyawan Jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membimbing dan membantu selama perkuliahan
6. Bapak Ir. Witantyo., M.Eng. Sc, Bapak Bambang Arif D . ST.,M.Eng.,PhD, dan Bapak Dr.Bambang Sudarmanta ST.,MT selaku dosen tim penguji yang memberikan saran dan masukan serta kritik yang menunjang kesempurnaan Tugas Akhir ini.
7. Bambang Nur Cahyo selaku partner tugas akhir yang telah banyak membantu.

8. Rekan - rekan satu tim tugas akhir penulis yaitu aditya PP, toni, dan hantyo yang selalu memberi dukungan dan kerjasama dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Teman satu kos yaitu budi dan galuh yang senantiasa memberi motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan Lintas Jalur Teknik Mesin FTI - ITS terima kasih atas kebersamaannya selama masa perkuliahan.
11. Teman-teman D-3 Teknik Mesin terutama Angkatan 2008 ,terima kasih atas dukungan dan doanya.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari keterbatasan dan kekurangan, baik waktu, tenaga, pikiran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Maka saran, kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam perkembangan teknologi di masa sekarang maupun masa mendatang.

Surabaya, Januari 2015

**Penulis**

## DAFTAR ISI

|  |            |
|--|------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                                   |            |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b>                               |            |
| <b>ABSTRAK.....</b>                                    | <b>v</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                  | <b>vii</b> |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                            | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                | <b>xi</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                             | <b>xv</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                              | <b>xix</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                         | <b>1</b>   |
| 1.1. Latar Belakang.....                               | 1          |
| 1.2. Permasalahan.....                                 | 2          |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                            | 3          |
| 1.4. Batasan Masalah.....                              | 3          |
| 1.5. Manfaat Penelitian.....                           | 3          |
| 1.6. Sistematika Penulisan.....                        | 4          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                   | <b>5</b>   |
| 2.1. Tinjauan Terdahulu .....                          | 5          |
| 2.1.1. Menurut Zhengqi Li (2009) dkk .....             | 5          |
| 2.2. Pembakaran .....                                  | 6          |
| 2.2.1. Prinsip - Prinsip Pembakaran.....               | 7          |
| 2.2.1.1. Proses Pembakaran .....                       | 7          |
| 2.2.2 Pembakaran Tiga T .....                          | 8          |
| 2.3. Definisi .....                                    | 9          |
| 2.3.1. Definisi Bahan Bakar ( <i>Fuel</i> ).....       | 9          |
| 2.3.1.1 Klasifikasi Bahan Bakar ( <i>Fuel</i> ) .....  | 10         |
| 2.3.2. Definisi Energi.....                            | 11         |
| 2.3.2.1. Definisi Panas ( <i>heat</i> ).....           | 11         |
| 2.4. Batubara.....                                     | 12         |
| 2.4.1. Klasifikasi Batubara.....                       | 13         |
| 2.5. Bahan Bakar Solar .....                           | 15         |
| 2.6. Udara Pembakaran.....                             | 18         |
| 2.6.1. Campuran Udara - Bahan Bakar.....               | 20         |
| 2.6.1.1 Rasio Udara - Bahan Bakar ( <i>AFR</i> ) ..... | 21         |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.6.1.2 Rasio Bahan Bakar - Udara ( <i>FAR</i> ) .....   | 21        |
| 2.6.1.3 Rasio Ekivalen ( $\Phi$ ) .....  | 21        |
| 2.6.1.4 Udara Berlebih ( <i>Excess Air - XSA</i> ) .....   | 22        |
| 2.7. <i>Turbulent Diffussion Flame</i> .....   | 22        |
| 2.8. <i>Flame Stability</i> .....  | 23        |
| 2.9. Burner .....  | 24        |
| 2.9.1. Burner untuk Bahan Bakar Padat .....  | 24        |
| 2.10. Blower .....   | 25        |
| 2.10.1. Blower Sentrifugal .....   | 26        |
| 2.11. <i>Secondary Air</i> .....   | 26        |
| 2.12. Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis .....  | 27        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....   | <b>31</b> |
| 3.1. Alat dan Bahan Penelitian .....   | 32        |
| 3.2. Tata Cara Pengujian .....   | 39        |
| 3.2.1. Tahap Persiapan .....   | 39        |
| 3.2.2. Tahap Pengambilan Data .....  | 42        |
| 3.2.3. Tahap Analisa Perhitungan .....   | 46        |
| 3.3. Metode .....  | 47        |
| <b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....   | <b>49</b> |
| 4.1. Perhitungan Pembakaran .....  | 49        |
| 4.1.1. Perhitungan Kebutuhan Oksigen dalam Kg/KgBB ..  | 49        |
| 4.1.2. Perhitungan <i>Excess Air Solar Burner</i> .....  | 50        |
| 4.2. Data Awal Perencanaan .....   | 51        |
| 4.2.1. Menghitung Laju Aliran Massa Batubara dan<br>Carrying Air .....   | 52        |
| 4.2.2. Menghitung Densitas Batubara .....  | 52        |
| 4.2.3. Menghitung Volume <i>Coal Bin</i> .....   | 53        |
| 4.2.4. Menghitung laju Aliran Massa Udara pada<br><i>Swirler Air Blower</i> .....                                      | 56        |
| 4.3. Hasil dan Analisa Percobaan .....   | 57        |
| 4.3.1. Analisa <i>Air-Fuel Ratio</i> .....   | 58        |
| 4.3.2. Analisa Hasil Fenomena Nyala Api dengan Variasi<br>Kecepatan Carrying Air saat Venturi pada<br>Titik 0 cm ..... | 60        |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>BAB V PENUTUP .....</b> | <b>73</b> |
| 5.1. Kesimpulan.....       | 73        |
| 5.2. Saran.....            | 74        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>      |           |
| <b>LAMPIRAN</b>            |           |
| <b>RIWAYAT PENULIS</b>     |           |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1  | <i>Experimental set-up tiny oil ignition burner</i> <sup>[7]</sup> .....                                       | 5  |
| Gambar 2.2  | Pembakaran yang sempurna, yang baik dan yang tidak sempurna <sup>[6]</sup> (Biro Efisiensi Energi, 2004) ..... | 9  |
| Gambar 2.3  | Klasifikasi Batubara .....   | 15 |
| Gambar 2.4  | Karakteristik Nyala Api .....  | 23 |
| Gambar 2.5  | <i>Pulverized Coal Burner</i> .....  | 25 |
| Gambar 2.6  | Blower Sentrifugal .....   | 26 |
| Gambar 2.7  | <i>Secondary Air Fan</i> .....   | 27 |
| Gambar 2.8  | Pengukuran tekanan statis <sup>[2]</sup> .....   | 28 |
| Gambar 2.9  | Pengukuran serempak tekanan statis dan stagnasi <sup>[2]</sup> .....   | 28 |
| Gambar 2.10 | Tabung Pitot .....   | 29 |
| Gambar 3.1  | Rancangan <i>Coal Oil Burner</i> .....   | 31 |
| Gambar 3.2  | <i>Light oil burner</i> .....  | 32 |
| Gambar 3.3  | <i>Carrying Air Blower</i> .....   | 33 |
| Gambar 3.4  | <i>Swirler air blower</i> .....  | 34 |
| Gambar 3.5  | Swirler pada chamber I dan II.....   | 34 |
| Gambar 3.6  | <i>Hopper / Coal Bin</i> .....   | 35 |



|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.7  | Alat penyangga <i>coal-oil burner</i> .....                   | 35 |
| Gambar 3.8  | Tangki bahan bakar solar.....                                 | 36 |
| Gambar 3.9  | <i>Pitot Tube</i> .....                                       | 36 |
| Gambar 3.10 | Anemometer .....  | 37 |
| Gambar 3.11 | Meteran.....  | 37 |
| Gambar 3.12 | Timbangan.....  | 38 |
| Gambar 3.13 | Instalasi Percobaan .....                                     | 38 |
| Gambar 3.14 | Titik Pengukuran Venturi .....                                | 39 |
| Gambar 3.15 | Pengaturan kecepatan <i>swirler air blower</i> .....          | 40 |
| Gambar 3.16 | Proses penimbangan massa batubara 2kg.....                    | 41 |
| Gambar 3.17 | Pengaturan kecepatan <i>carrying air blower</i> .....         | 41 |
| Gambar 3.18 | Pengukuran Panjang Nyala Api.....                             | 42 |
| Gambar 3.19 | Pengambilan Data pada <i>Carrying Air Blower</i> .....        | 43 |
| Gambar 3.20 | Pengaturan Variasi Kecepatan <i>Carrying Air Blower</i> ..... | 43 |
| Gambar 3.21 | Pengambilan data <i>swirler air blower</i> .....              | 44 |
| Gambar 3.22 | Pengukuran kecepatan aliran <i>swirler air blower</i> .....   | 45 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.23 | Diagram alir metode penelitian .....  | 47 |
| Gambar 4.1  | Bentuk <i>Coal Bin</i> .....  | 53 |
| Gambar 4.2  | Laju aliran massa udara dan batubara .....  | 60 |
| Gambar 4.3  | (a), (b), (c), Fenomena panjang nyala api pada<br>kecepatan 17,2 m/s .....                | 62 |
| Gambar 4.4  | (a), (b), (c), Fenomena panjang nyala api pada<br>kecepatan 14,93 m/s .....               | 64 |
| Gambar 4.5  | (a), (b), (c), Fenomena panjang nyala api pada<br>kecepatan 13,17 m/s .....               | 66 |
| Gambar 4.6  | Fenomena <i>open chamber</i> pada alat burner .....                                       | 50 |
| Gambar 4.7  | Fenomena panjang nyala api vertikal .....   | 69 |
| Gambar 4.8  | Laju pembakaran batubara per satuan panjang<br>nyala api dengan kecepatan 17,2 m/s .....  | 71 |
| Gambar 4.9  | Laju pembakaran batubara per satuan panjang<br>nyala api dengan kecepatan 14,93 m/s ..... | 71 |
| Gambar 4.10 | Laju pembakaran batubara per satuan panjang<br>nyala api dengan kecepatan 13,17 m/s ..... | 71 |

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Table 2.1 Tabel Komposisi Udara di Atmosfer.....  | 19 |
| Tabel 3.1 Parameter yang terdapat dalam pengujian.....                                      | 45 |
| Tabel 3.2 Komposisi bahan bakar batubara.....   | 46 |
| Tabel 4.1 Data parameter - parameter batubara dari PT.PJB Unit<br>Pembangkitan Paiton ..... | 49 |
| Tabel 4.2 Total laju aliran massa udara .....   | 58 |
| Tabel 4.3 <i>Air Fuel Ratio</i> .....   | 59 |
| Tabel 4.4 Laju pembakaran per satuan panjang nyala api .....                                | 47 |

*halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di dalam dunia Industri, penggunaan burner telah banyak digunakan sebagai pemanas ataupun sebagai pengering. Burner yang biasanya digunakan untuk sekarang ini adalah burner dengan bahan bakar cair (*oil fuel*) yang pada umumnya memakai minyak solar. Pemakaian bahan bakar minyak solar untuk digunakan sebagai bahan bakar burner kurang ekonomis. Hal ini mengakibatkan pengeluaran produksi pada industri pembangkit energi akan semakin tinggi.

Suatu proses pembakaran selalu mengalami pembaharuan yang semakin sempurna dan efisien. Peningkatan efisiensi pada proses pembakaran juga telah banyak ditemukan dan diterapkan dalam dunia industri pembangkit tenaga. Proses pembakaran yang efisien tersebut bertujuan untuk melakukan penghematan pada bahan bakar sebagai salah satu faktor utama dalam proses pembakaran.

Salah satu cara untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak solar pada burner dibutuhkan perancangan secara khusus yang menggunakan energi gasifikasi *oil gun* yang tinggi untuk menyalakan tingkat pertama sejumlah kecil bubuk batubara dan kemudian nyala api pada tingkat pertama akan memicu timbulnya nyala api pada tingkat kedua serta ketiga secara bertahap, hal tersebut dinamakan *coal-oil Ignition System* sehingga dengan menggunakan konsumsi minyak solar yang sedikit dapat menghasilkan nyala api yang diinginkan. Proses pembakaran memerlukan bahan bakar untuk menimbulkan nyala api dan melepaskan energi panas yang nantinya dipakai sesuai kebutuhannya. Hasil nyala api yang diperoleh mempengaruhi laju pembakaran per satuan panjang nyala api, yang mana dari laju pembakaran tersebut diharapkan dapat menghasilkan pembakaran yang baik dan optimal. Sehingga dengan

menggunakan rancangan *coal oil* burner tersebut dapat meminimalisir biaya pengeluaran saat start-up pada boiler di industri pembangkit tenaga.

**Zhengqi Li (2009) dkk** melakukan penelitian pada *tiny-oil burner* mengenai *excess air* dengan variasi ratio udara bahan bakar 0.56, 0.75, 0.98 dan 1.14 dan kecepatan pada *primary air* 17, 23, 30, dan 35 m/s terhadap distribusi temperatur dari flue gas, didapatkan suatu penghematan 90% dari minyak yang biasanya dikonsumsi dalam proses *firing-up*, temperatur disepanjang garis tengah burner secara bertahap meningkat sepanjang arah aliran udara yang dialiri oleh batubara.

## **1.2 Permasalahan**

Pembakaran batubara dengan metode konvensional sangat mahal sehingga tidak menguntungkan dalam segi ekonomis, oleh karena itu dibuat suatu sistem burner yang disebut sebagai *coal-oil* burner yang prinsip kerjanya sedikit berbeda dengan sistem burner konvensional dimana bahan bakar minyak solar hanya digunakan untuk membantu penyalaan pada bahan bakar batubara. Ini dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran tersebut. Karena pada metode konvensional dibutuhkan jumlah solar yang banyak dan waktu pemanasan yang lama. Saat start up metode ini biasanya dibutuhkan bahan bakar solar sebanyak 140 kl atau setara Rp 980 juta pada saat *cold start* (*shutdown* lebih dari 72 jam) dan sebanyak 60 kl atau setara Rp 414 juta pada saat *hot start* (*shutdown* kurang dari 10 jam) dan *start up* membutuhkan waktu 6-8 jam saat *cold start* dan 1,5-2 jam pada saat *hot start*. Dengan menggunakan *tiny oil burner* dapat melakukan penghematan konsumsi solar yang digunakan pada saat *start up* pada boiler. Ini dikarenakan dengan menggunakan *tiny oil burner* yang mana dilakukan pembakaran batubara lebih cepat daripada sebelumnya. Serta mengurangi dalam jumlah banyak konsumsi bahan bakar minyak solar dan diganti dengan bahan bakar batubara dengan harga yang terjangkau.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menemukan desain rancang bangun *coal-oil burner* yang baik dan efisien.
2. Mengetahui fenomena pembakaran yang terjadi pada *start-up burner* dengan variasi kecepatan *carrying air blower*
3. Mengetahui laju pembakaran bahan bakar batubara per satuan panjang nyala api saat proses pembakaran.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini, penulis mengambil batasan – batasan untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan.

1. Bahan bakar yang dipakai adalah minyak solar dan batubara.
2. Variasi yang dipakai adalah kecepatan aliran *carrying air* yang disuplai dari blower.
3. Analisa yang digunakan adalah analisa proses terbakarnya bahan bakar batubara.
4. Udara yang digunakan pada suhu kamar, tidak ada pemanasan awal.
5. Fluida kerja yang digunakan adalah udara yang bersifat *steady state, incompressible, fully develop, dan uniform*.
6. Bahan bakar batubara tidak terbakar sepenuhnya.
7. Kondisi sekeliling (ambient) pada tiap pengambilan data adalah konstan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :



1. Mengurangi penggunaan konsumsi bahan bakar solar pada saat boiler *start-up* dengan pembakaran batubara lebih awal dari sebelumnya.
2. Mengurangi biaya pengeluaran pada saat boiler *start-up* pada industri pembangkit tenaga.
3. Meningkatkan keandalan pada unit boiler *start-up* sehingga dapat mengurangi jumlah *start-up* unit dikarenakan oleh gangguan – gangguan yang ada.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

### ➤ BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### ➤ BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori dari berbagai literatur yang digunakan untuk referensi dalam menganalisa hasil perhitungan.

### ➤ BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat prosedur percobaan yang dilakukan untuk penelitian ini, serta analisa dari data – data acuan yang digunakan dalam melakukan penelitian.

### ➤ BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat analisa dan pembahasan hasil dari penelitian yang dilakukan.

### ➤ BAB V PENUTUP

Pada Bab ini memuat kesimpulan dan saran yang didapat dari seluru pengerjaan Tugas Akhir ini.

## BAB II

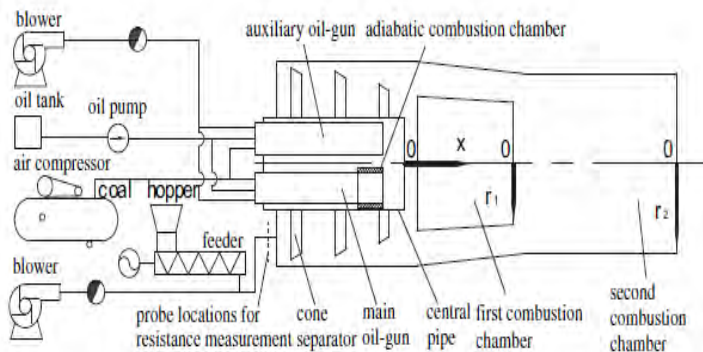
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Terdahulu

##### 2.1.1 Menurut Zhengqi Li (2009) dkk

Sebuah *tiny-oil ignition burner* telah dikemukakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak selama proses *firing-up* dan operasi beban-parsial. Untuk mengetahui pengaruh tingkat umpan yang berbeda pada pengapian batubara bituminous dalam *tiny-oil ignition burner*, skala lengkap percobaan reaksi aliran dilakukan pada setup eksperimental. Pengapian burner biasanya digunakan dalam utilitas boiler 800-MWe. Distribusi temperatur gas didalam burner diperoleh dengan nilai dari pengisian batubara 2, 3, 4, dan 5 ton/jam.

Dengan melakukan penelitian pada *tiny-oil burner* mengenai *excess air* dengan variasi ratio udara bahan bakar 0.56, 0.75, 0.98 dan 1.14 dan kecepatan pada *primary air* 17, 23, 30, dan 35 m/s terhadap distribusi temperatur dari flue gas, didapatkan suatu penghematan 90% dari minyak yang biasanya dikonsumsi dalam proses *firing-up*, temperatur disepanjang garis tengah burner secara bertahap meningkat sepanjang arah aliran udara yang dialiri oleh batubara. Model dari burner yang digunakan adalah sebagai berikut :



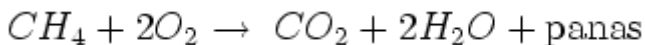
Gambar 2.1 *experimental set-up tiny oil ignition burner*<sup>[7]</sup>

## 2.2 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu runutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api.

Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi.

Contoh:



Tipe pembakaran ada 2 yaitu :

### 1. Pembakaran sempurna

Pada pembakaran sempurna, reaktan terbakar dengan oksigen menghasilkan beberapa produk. Ketika hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka reaksi utama akan menghasilkan karbon dioksida dan air. Ketika elemen dibakar, maka produk yang dihasilkan biasanya juga berupa oksida. Karbon dibakar menghasilkan karbon dioksida, sulfur dibakar menghasilkan sulfur dioksida, dan besi dibakar menghasilkan besi(III) oksida. Nitrogen tidak dianggap sebagai komponen yang bisa terbakar jika oksigen dipakai sebagai agen pengoksidasi, namun nitrogen oksida  $NO_x$  dalam jumlah kecil biasanya akan terbentuk.

Jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran sempurna disebut udara teoritis. Namun, pada prakteknya digunakan jumlah 2-3 kali jumlah udara teoritis.

### 2. Pembakaran tidak sempurna

Pembakaran tak sempurna dihasilkan bila tidak ada oksigen yang cukup untuk membakar bahan bakar sepenuhnya menjadi karbon dioksida dan air.

Pada banyak bahan bakar, seperti minyak diesel, batu bara, dan kayu, pirolisis muncul sebelum pembakaran. Pada

pembakaran tak sempurna, produk pirolisis tidak terbakar dan mengkontaminasi asap dengan partikulat berbahaya, misalnya oksidasi sebagian etanol menghasilkan asetaldehida yang berbahaya, begitu juga dengan oksidasi sebagian karbon yang menghasilkan karbon monoksida yang beracun.

Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan desain alat pembakaran, seperti pembakar minyak dan mesin pembakaran dalam. Perbaikan lebih lanjut mencakup alat katalitik pasca pembakaran (seperti konverter katalitik).

## **2.2.1 Prinsip-prinsip Pembakaran**

### **2.2.1.1 Proses pembakaran**

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Oksigen ( $O_2$ ) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara. Bahan bakar padat atau cair harus diubah ke bentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup.

Hampir 79% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen juga mengurangi transfer panas pada permukaan alat penukar panas, juga meningkatkan volum hasil samping pembakaran, yang juga harus dialirkan melalui alat penukar panas sampai ke cerobong. Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen ( $NO_x$ ), yang merupakan pencemar beracun. Karbon, hidrogen dan sulfur dalam bahan bakar

bercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida, melepaskan panas masing-masing 8.084 kkal, 28.922 kkal dan 2.224 kkal. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2.430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO<sub>2</sub> akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.

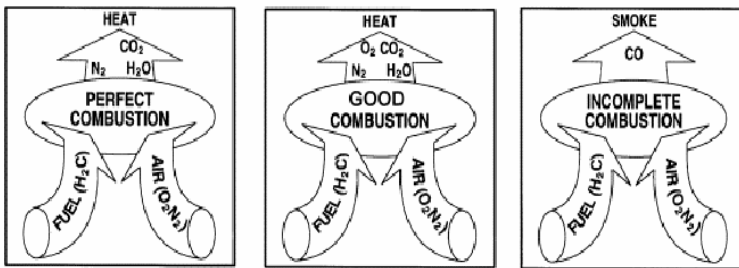
|                 |                  |   |                   |                           |
|-----------------|------------------|---|-------------------|---------------------------|
| C               | + O <sub>2</sub> | → | CO <sub>2</sub>   | + 8.084 kkal/kg Karbon    |
| 2C              | + O <sub>2</sub> | → | 2 CO              | + 2.430 kkal/kg Karbon    |
| 2H <sub>2</sub> | + O <sub>2</sub> | → | 2H <sub>2</sub> O | + 28.922 kkal/kg Hidrogen |
| S               | + O <sub>2</sub> | → | SO <sub>2</sub>   | + 2.224 kkal/kg Sulfur    |

Setiap kilogram CO yang terbentuk berarti kehilangan panas 5654 kKal (8084 – 2430).<sup>[6]</sup>

## 2.2.2 Pembakaran Tiga T

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” pembakaran yaitu (1) *Temperature* / suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalan bahan bakar, (2) *Turbulence*/ Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan (3) *Time*/ Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna. Bahan bakar yang umum digunakan seperti gas alam dan propan biasanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang, yang mungkin dapat digunakan untuk transfer panas lebih lanjut. Gas alam mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar minyak, sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya, akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam. Terlalu banyak, atau terlalu sedikit nya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah O<sub>2</sub> tertentu diperlukan

untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Walau demikian, terlalu banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi. Tidak seluruh bahan bakar diubah menjadi panas dan diserap oleh peralatan pembangkit. Biasanya seluruh hidrogen dalam bahan bakar terbakar. Saat ini, hampir seluruh bahan bakar untuk boiler, karena dibatasi oleh standar polusi, sudah mengandung sedikit atau tanpa sulfur. Sehingga tantangan utama dalam efisiensi pembakaran adalah mengarah ke karbon yang tidak terbakar (dalam abu atau gas yang tidak terbakar sempurna), yang masih menghasilkan CO selain CO<sub>2</sub>.



Gambar 2.2 Pembakaran yang sempurna, yang baik dan yang tidak sempurna<sup>[6]</sup>  
(Biro Efisiensi Energi, 2004)

## 2.3 Definisi

### 2.3.1 Definisi Bahan Bakar (*Fuel*)

Bahan bakar singkatnya adalah zat yang mudah terbakar. Di dalam bab ini penekanan akan diberikan kepada bahan bakar hidrokarbon, yang mengandung hydrogen dan karbon. Sulfur dan zat-zat kimia lainnya juga mungkin ada. Bahan bakar hidrokarbon dapat memiliki bentuk cair, gas, dan padat.

Bahan bakar hidrokarbon cair umumnya dihasilkan dari minyak mentah melalui proses destilasi dan cracking. Sebagai contoh adalah bensin, solar, minyak tanah, dan berbagai jenis bahan bakar minyak lainnya. Kebanyakan bahan bakar cair

merupakan campuran dari hidrokarbon dengan komposisi yang biasanya diberikan di dalam bentuk fraksi massa. Untuk memudahkan perhitungan-perhitungan pembakaran, bensin seringkali dimodelkan sebagai oktan  $C_6H_8$ , dan solar sebagai dodekan,  $C_{12}H_{26}$ .

Bahan bakar hidrokarbon berbentuk gas diperoleh dari sumur-sumur gas alam atau diproduksi melalui proses kimia tertentu. Gas alam biasanya terdiri dari beberapa hidrokarbon yang berbeda, yang terutama diantaranya adalah metan,  $CH_4$ . Komposisi dari bahan bakar gas biasanya diberikan didalam bentuk fraksi mol. Bahan bakar hidrokarbon dalam bentuk cair maupun gas dapat disintesis dari batubara, oil shale, atau pasir ter.

Batubara merupakan bahan bakar padat yang sudah dikenal. Komposisinya cukup bervariasi tergantung dari lokasi penambangannya. Untuk perhitungan-perhitungan pembakaran, komposisi batubara biasanya diekspresikan sebagai analisis pokok. Analisis pokok memberikan komposisi berbasis massa dalam bentuk jumlah relative elemen-elemen kimia (karbon, sulfur, hydrogen, nitrogen, oksigen) dan abu.

Bahan bakar (*fuel*) merupakan suatu bahan (*material*) yang dikonsumsi untuk menghasilkan energi. Bertolak dari gagasan di atas, maka terdapat sejumlah bahan yang memenuhi batasan di atas dan dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu :

1. Bahan yang dikonsumsi dalam proses pembakaran reaksi kimia.
2. Bahan yang digunakan pada reaktor nuklir reaksi inti.
3. Bahan yang dikonsumsi oleh makhluk hidup metabolisme.

### **2.3.1.1 Klasifikasi Bahan Bakar (*Fuel*)**

Bahan bakar diklasifikasikan menurut kondisi fisiknya:

1. Padat : Batubara, kokas, kayu, arang dan ampas (*bagasse*)
2. Cair : A. Minyak bumi (*petroleum product*)

- Bensin (*Gasoline*)
- Solar (*Diesel oil*)
- Minyak Tanah (*Kerosene*)
- Minyak Residu (*Residual Oil*)

### 2.3.2 Definisi Energi

Energi adalah suatu kerja yang ada dalam berbagai bentuk dimana energi tersebut bisa dikonversikan dari suatu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam suatu sistem fisik energi dapat berubah dari bentuk ke suatu bentuk tertentu.

#### 2.3.2.1 Definisi Panas (*heat*)

Panas merupakan energi yang bergerak dari suatu sistem ke sistem lainnya semata mata karena perbedaan suhu antara kedua sistem. Mekanisme perpindahan panas tersebut dapat berupa radiasi, konduksi maupun konveksi.

Telah disebutkan di atas bahwa bahan bakar (*fuel*) adalah bahan yang dikonsumsi untuk menghasilkan sejumlah energi panas. Didalam proses pembakaran bahan bakar diperoleh suhu yang tinggi dari hasil proses tersebut, dan karena perbedaan suhu antara titik dimana proses pembakaran terjadi dan lingkungannya maka terjadilah perpindahan energi yang berupa panas. Jumlah energi pns maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut didefinisikan sebagai nilai kalor bahan bakar. Dengan demikian, satuan nilai kalor bahan bakar adalah  $\text{Kj/kg}$ ,  $\text{Kj/m}^3$ ,  $\text{Kkal/kg}$ ,  $\text{Kkal/m}^3$ ,  $\text{Btu/lb}$ , dan  $\text{Btu/ft}^3$ .

Ditinjau dari fase  $\text{H}_2\text{O}$  yang merupakan salah satu produk proses pembakaran, nilai kalor bahan bakar dibedakan atas :

- b. Nilai kalor atas (NKA) bila  $\text{H}_2\text{O}$  produk pembakaran dalam fase cair (jenuh), dan

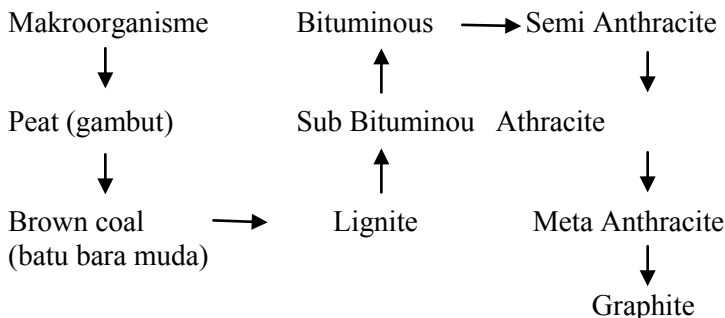


- c. Nilai kalor bawah (NKB) bila  $H_2O$  produk pembakaran dalam fase gas (jenuh).

Dengan demikian selisih antara NKA dan NKB merupakan panas laten penguapan total massa air yang dihasilkan oleh proses pembakaran satu satuan massa atau volume suatu bahan bakar.

## 2.4 Batubara

Berbagai penelitian yang telah dilakukan pada batu bara bermuara pada suatu simpulan bahwa batu bara merupakan bahan bakar padat yang berasal dari makroorganisme terutama tersusun atas lignin dan selulosa yang mengalami perubahan komposisi susunan atau struktur karena proses biokimia (metamorphose) pada tekanan dan suhu tertentu dalam rentang waktu yang sangat panjang. Selama proses metamorfosa unsur – unsur  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  dan  $S$  secara berangsur keluar dalam bentuk gas sehingga tertinggal unsur – unsur  $C$  dalam prosentase terbesar kemudian berturut – turut  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  dan  $S$  serta beberapa unsur lainnya. Secara skematis derajat metmorfosa yang menggambarkan tingkat batu bara tersusun sebagai berikut:



Secara teknis dan ekonomis “*peat*”, brown coal dan graphite tidak dianggap sebagai batu bara. Dengan demikian yang disebut sebagai batu bara mewakili derajat metamorfosa Lignite, Sub Bituminous, Bituminous, Semi Anthracite dan Meta Anthracite.

### 2.4.1 Klasifikasi Batubara

Batubara dapat diklasifikasikan berdasarkan derajat metamorfosa, nilai komersial dan berdasarkan kegunaan batubara. Klasifikasi yang disebutkan pertama yang banyak dipergunakan sebagai acuan utama.

➤ Klasifikasi menurut tingkatannya

Klasifikasi ini adalah yang terpenting dalam mengklasifikasikan batubara. Batubara diklasifikasikan menurut derajat metamorfosanya dalam bentuk alamiah. Klasifikasi yang diambil dari ASTM adalah berdasarkan atas prosentase karbon tetap (*fixed carbon*) dan panas pembakaran (*heating value*) pada kondisi batubara bebas bahan mineral (*mineral matter free*). Untuk batubara dengan tingkatan yang lebih tinggi diklasifikasikan menurut karbon tetapnya pada keadaan kering, sementara untuk tingkatan yang lebih rendah, didasarkan pada nilai kalor dimana batubara masih mengandung kebasahan (*moisture*).

- **Meta Anthracite** : adalah batubara dengan kadar karbon tinggi yang mempunyai sifat mendekati graphite dalam struktur dan komposisinya. Biasanya sukar untuk dinyalakan dan dibakar.

- **Anthracite** : juga disebut sebagai batubara keras, karena kekerasannya, padat dan hitam mengkilat. Agak sukar untuk dinyalakan dan terbakar dengan nyala api pendek, tanpa asap, dan berwarna biru. Anthracite terutama digunakan untuk pemanasan ruangan dan sebagian bahan dari karbon. Pada industri besi dan baja digunakan dengan dicampur bituminous untuk pembuatan coke, sebagai pelapis cetakan, pemanas dan sebagai campuran coke pada proses pengecoran. Selain daripada itu juga digunakan pada berbagai macam tujuan dimana nyala api yang bersih dan steady diperlukan.

- **Semi Anthracite** : padat tapi agak lemah dibanding anthracite, terbakar dengan nyala api pendek, bersih dan kebiru – biruan. Penggunaannya hampir sama dengan anthracite.

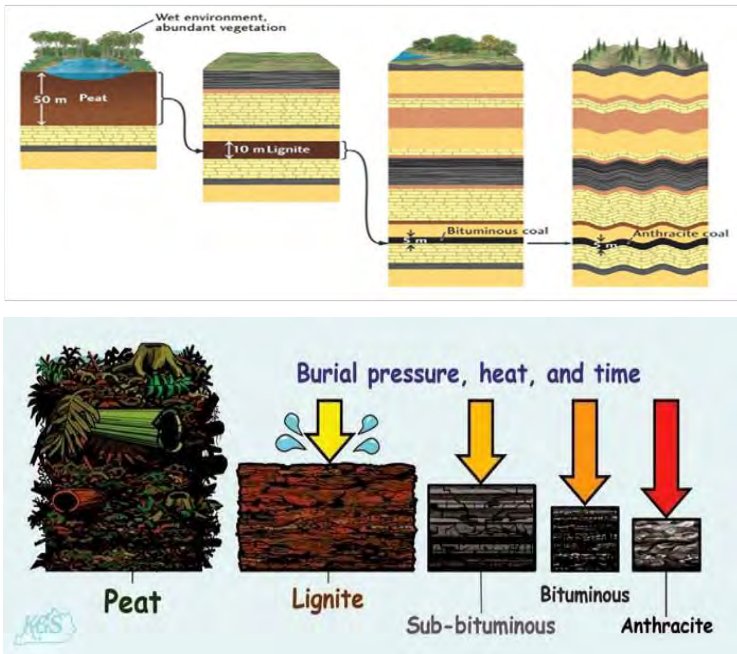
- **Low Volatile Bituminous Coal** : berwarna hitam keabu – abuan, mempunyai struktur yang bulat – bulat dan mudah pecah dalam pengangkutan. Terbakar dengan nyala api yang pendek dan tidak berasap. Digunakan sebagai campuran higher volatile bituminous coal dalam pembuatan coke, pemanasan ruangan. Low volatile bituminous coal tidak boleh dikarbonasikan sendiri pada oven yang berbentuk selokan karena dapat berkembang dan merusak dinding oven.

- **Medium Volatile Bituminous Coal** : merupakan batu bara yang mempunyai sifat antara low dan high volatile bituminous coal sehingga karakteristik berada antara keduanya. Sebagian mempunyai sifat agak lunak dan mudah pecah, sebagian lainnya mempunyai sifat keras dan tidak pecah dalam pengangkutan. Berasap apabila dibakar dengan cara yang kurang baik. Coke yang dibuat dari batu bara ini mempunyai kekuatan yang baik sekali.

- **High Volatile Bituminous Coal** : mempunyai struktur yang homogen dengan garis – garis mengkilat, bersifat keras dan tidak mudah pecah dalam pengangkutan. Berasap apabila tidak dibakar dengan baik. Mempunyai kadar moisture dan oksigen yang cukup tinggi. Digunakan dalam pembuatan coke dengan dicampur batu bara dengan mutu yang lebih baik.

- **Sub Bituminous Coal** : mempunyai struktur yang homogen, kandungan moisturennya tinggi, dan mudah pecah apabila ditempatkan di udara terbuka karena penyusutan sebagai akibat dari penguapan moisturennya. Penggunaannya terutama untuk pemanas (bahan bakar ketel uap).

- **Lignite** : berwarna coklat kehitaman, mempunyai kadar moisture 30 – 40 % dan panas pembakaran yang rendah. Seperti sub bituminous mempunyai kecenderungan untuk pecah selama pengeringan dengan udara. Lignite digunakan untuk bahan bakar ketel uap dan dapat dibakar dengan menggunakan tungku bakar maupun dari bentuk lembut (pulverized form).



Gambar 2.3. Klasifikasi Batubara

## 2.5 Bahan Bakar Solar

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bahan bakar solar yaitu sebagai

berikut :

### 1. Sifat utama dari bahan bakar solar

Bahan bakar diesel biasa juga disebut light oil atau solar, adalah suatu campuran dari hydrocarbon yang telah di distilasi setelah bensin dan minyak tanah dari minyak mentah pada temperatur 200 sampai 340. Sebagian besar solar digunakan untuk menggerakkan mesin diesel. Bahan bakar diesel mempunyai sifat utama sebagai berikut.

- Tidak berwarna atau sedikit kekuning-kuningan dan berbau.
- Encer dan tidak menguap dibawah temperatur normal.
- Mempunyai titik nyala tinggi (40 C-100 C).
- Terbakar spontan pada 350 C, sedikit dibawah temperatur bensin yang terbakar sendiri sekitar 500 C.
- Mempunyai berat jenis 0,82-0,86.
- Menimbulkan panas yang besar (sekitar 10.500 kcal/kg).
- Mempunyai kandungan sulfur lebih besar dibanding bensin.

## 2. Syarat-syarat solar

Kualitas solar yang diperlukan sebagai berikut :

### a. Mudah terbakar

Waktu tertundanya pembakaran harus pendek / singkat sehingga engine mudah dihidupkan. Solar harus dapat memungkinkan engine bekerja lembut dengan sedikit knocking.

### b. Tetap encer pada suhu dingin (tidak mudah membeku)

Solar harus tetap cair pada temperatur rendah sehingga engine akan mudah dihidupkan dan berputar lembut.

### c. Daya Pelumasan

Solar juga berfungsi sebagai pelumas untuk pompa injeksi dan nosel. Oleh karena itu harus mempunyai sifat daya pelumas yang baik.

### d. Kekentalan

Solar harus mempunyai kekentalan yang memadai sehingga dapat disemprotkan oleh injektor.

### e. Kandungan Sulfur

Sulfur merusak pemakaian komponen engine, dan kandungan sulfur solar harus sekecil mungkin.

### f. Stabil

Tidak berubah alam kualitas, tidak mudah larut selama disimpan.

## 3. Nomor Cetane (Cetane Number)

Nomor cetane atau tingkatan dari solar adalah satu cara untuk mengontrol bahan bakar solar dalam kemampuan untuk

pencegah terjadinya knocking. Tingkatan yang lebih besar memiliki kemampuan yang lebih baik. Ada dua skala indek untuk mengontrol kemampuan solar untuk mencegah knocking dan mudah terbakar yaitu cetane index dan diesel index. Minimal tingkatan cetane yang dapat diterima untuk bahan bakar yang digunakan untuk engine diesel kecepatan tinggi umumnya 40-45.

Oleh karena, itu engine diesel perbandingan kompresinya (15:1-22:1) lebih tinggi daripada engine bensin (6:1-12:1) dan juga engine diesel dibuat dengan kontruksi yang jauh lebih kuat dari pada engine bensin. Dibandingkan dengan engine bensin pada engine diesel mempunyai keuntungan dan kerugian sebagai berikut:

➤ **Keuntungan :**

- Engine diesel mempunyai efesiensi panas yang lebih besar. Hal ini berarti bahwa penggunaan bahan bakarnya lebih ekonomis dari pada engine bensin.
- Mesin diesel bisa lebih lama dan tidak memerlukan electric igniter. Hal ini berarti bahwa kemungkinan kesulitan lebih kecil daripada engine bensin.
- Momen pada engine diesel tidak berubah pada jenjang tingkat kecepatan yang luas. Hal ini berarti bahwa engine diesel lebih fleksibel dan lebih mudah dioperasikan dari pada engine bensin(Hal inilah sebabnya engine diesel digunakan pada kendaraan-kendaraan yang besar)

➤ **Kerugian :**

- Tekanan pembakaran maksimum hampir dua engine bensin. Hal ini berarti bahwa suara dan getaran engine diesel lebih besar.
- Tekanan pembakarannya yang lebih tinggi, maka engine diesel harus dibuat dari bahan yang tahan tekanan tinggi dan harus mempunyai struktur yang sangat. Hal ini berarti bahwa untuk daya kuda yang sama, engine diesel jauh lebih berat dari pada engine bensin dan biaya pembuatannya pun menjadi lebih mahal.

- Engine diesel memerlukan sistem injeksi bahan bakar yang presisi. Dan ini berarti bahwa harganya lebih mahal dan memerlukan pemeliharaan yang lebih cermat dibanding dengan engine bensin.
- Engine diesel mempunyai perbandingan kompresi yang lebih tinggi dan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memutarinya. Oleh karena itu engine diesel memerlukan alat pemutar seperti motor stater dan baterai yang berkapasitas lebih besar.

Pada sistem bahan bakar engine diesel, feed pump menghisap bahan bakar dari tangki bahan bakar. Bahan bakar disaring oleh fuel filter dan kandungan air yang terdapat pada bahan bakar dipisahkan oleh fuel sedimenter sebelum dialirkan ke pompa injeksi bahan bakar. Rakitan pompa injeksi terdiri dari pompa injeksi, governor, timer dan feed pump. Ada dua tipe pompa injeksi : tipe distributor dan tipe in-line. Dengan digerakkan oleh engine, pompa injeksi menekan bahan bakar dan mengalirkannya melalui *delivery line* ke injection nozzle, dan selanjutnya diinjeksikan ke dalam silinder menurut urutan pengapian.

## 2.6 Udara Pembakaran

Dalam proses pembakaran selalu diperlukan oksigen. Oksigen ini dapat diperoleh dari udara atmosfer. Beberapa definisi mengenai udara dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Udara kering adalah udara tanpa kandungan air (*dry air*)
- Udara basah (*wet air*) adalah udara dengan kandungan air yang masih terikat
- Udara standard (*standard air*) adalah udara dengan kandungan 0,013 kg air per kg udara kering (sesuai dengan  $RH = 60\%$  pada  $25^{\circ}\text{C}$ )

Komposisi udara dan data lain sebagai berikut :

Tabel 2.1. Tabel komposisi Udara di Atmosfer

| Unsur                      | % Volume | % Berat |
|----------------------------|----------|---------|
| Oksigen (O <sub>2</sub> )  | 20,99    | 23,15   |
| Nitrogen (N <sub>2</sub> ) | 78,03    | 76,85   |
| Gas lain                   | 0,98     |         |

- Berat molekul ekuivalen dari udara = 29
- Mole udara / mole oksigen = 100/10,99  
= 4,76
- Mole N<sub>2</sub> / mole oksigen = 78,04/20,99  
= 3,76
- Kg udara kering / kg O<sub>2</sub> = 100/23,15 =  
4,32
- Kg N<sub>2</sub> / kg O<sub>2</sub> = 76,85/23,15  
= 3,32

Jumlah minimum udara yang memberikan oksigen yang cukup untuk pembakaran tuntas terhadap semua karbon, hydrogen, dan sulfur yang terkandung didalam bahan bakar disebut jumlah udara teoritis. Untuk pembakaran tuntas dengan jumlah udara teoritis, produk yang dihasilkan terdiri dari karbondioksida, air, sulfur dioksida, nitrogen yang menyertai oksigen di dalam air, dan setiap nitrogen yang terkandung di dalam bahan bakar. Oksigen bebas tidak akan muncul sebagai salah satu produk pembakaran.

Sebagai contoh :

Tentukan jumlah udara teoritis untuk pembakaran tuntas terhadap metan. Untuk reaksi ini, produk yang dihasilkan menghasilkan hanya karbondioksida, air, dan nitrogen.



Dimana a, b, c dan d mempresentasikan jumlah mol dari oksigen, karbondioksida, air dan nitrogen.

Didalam menuliskan sisi sebelah kiri dari persamaan diatas, 3.76 mol nitrogen dianggap menyertai setiap mol oksigen.



Dengan menerapkan prinsip konservasi massa terhadap karbon, hydrogen, oksigen, dan nitrogen, secara berturut turut akan diperoleh empat persamaan diantara empat variable yang tidak diketahui

$$\begin{array}{rcl} \text{C :} & b & = 1 \\ \text{H :} & 2c & = 4 \\ \text{O :} & 2b+c & = 2a \\ \text{N :} & d & = 3,76a \end{array}$$

Dengan menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut, persamaan kimia yang setimbang adalah



Koefisien 2 di depan suku ( $\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2$ ) pada persamaan itu adalah jumlah mol oksigen di dalam udara pembakaran, per mol bahan bakar dan bukan jumlah udara. Jumlah udara pembakaran adalah 2 mol oksigen plus  $2 \times 3,76$  mol nitrogen, sehingga memberikan total 9,52 mol udara per mol bahan bakar. Jadi, untuk untuk reaksi yang diberikan melalui persamaan itu rasio udara bahan bakar dengan basis molar adalah 9,52.

### 2.6.1 Campuran Udara - Bahan Bakar

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain bahan bakar, udara (oksigen), kalor, dan reaksi kimia. Selain itu, perbandingan campuran udara dan bahan bakar memegang peranan yang penting pula dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (produk) proses pembakaran.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung rasio campuran udara dan bahan bakar antara lain AFR (*Air-fuel Ratio*), FAR (*Fuel-air Ratio*), dan Rasio Ekuivalen ( $\Phi$ ).

### 2.6.1.1 Rasio Udara - Bahan Bakar (AFR)

Metode ini merupakan metode yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbolis, AFR dihitung sebagai :

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{Ma\dot{N}_a}{Mf\dot{N}_f}$$

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dikatakan kaya bahan bakar.

### 2.6.1.2 Rasio Bahan Bakar - Udara (FAR)

Rasio bahan bakar - udara merupakan kebalikan dari AFR yang dirumuskan sebagai berikut :

$$AFR = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} = \frac{Mf\dot{N}_f}{Ma\dot{N}_a}$$

### 2.6.1.3 Rasio Ekuivalen ( $\Phi$ )

Metode ini termasuk juga metode yang umum digunakan. Rasio ekuivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara - bahan bakar (AFR) stoikiometrik dengan rasio udara - bahan bakar (AFR) aktual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar - udara (FAR) aktual dengan rasio bahan bakar - udara (FAR) stoikiometrik.

$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a} = \frac{FAR_a}{FAR_s}$$

- $\Phi > 1$  terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai kaya bahan bakar (*fuel - rich mixture*)

- $\Phi < 1$  campurannya disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel - lean mixture*)
- $\Phi = 1$  merupakan campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna)

#### 2.6.1.4 Udara Berlebih (*Excess Air - XSA*)

Dalam proses pembakaran sulit untuk mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara udara dan bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terjadinya pembakaran secara sempurna seluruh bahan bakar yang ada.

Udara berlebih (*excess air*) didefinisikan sebagai udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah teoritis yang dibutuhkan bahan bakar. Udara berlebih dapat dideduksi dengan pengukuran komposisi produk pembakaran dalam keadaan kering (*dry basis*). Jika produk merupakan hasil pembakaran sempurna, maka persentase udara berlebih dapat dinyatakan sebagai :

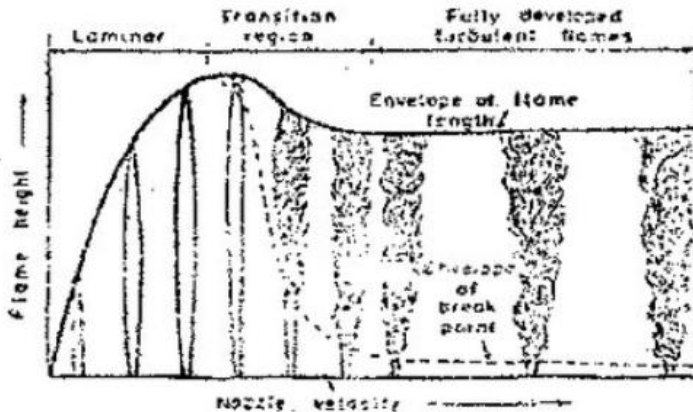
$$\%XSA = \frac{(X_{O_2})_{prod}}{(XN^2)_{prod} / 3,76 - (XN^2)_{prod}}$$

#### 2.7 *Turbulent Diffusion Flame*

*Turbulent Diffusion Flame* merupakan suatu fenomena nyala api yang kompleks, struktur nyala terbentuk dipengaruhi oleh banyak hal seperti tekanan tangki, laju alir massa udara pembakaran, diameter pipa penghantar aliran bahan bakar ke jet, peletakan pipa relatif terhadap medan gravitasi, AFR dsb.

Pada kecepatan rendah nyala api terdifusi tergolong laminar dan dimensi dari panjang nyala api akan bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran bahan bakar. Sehingga pada titik tertentu apabila kita terus menaikkan kecepatan alir maka nyala api terdifusi akan berubah menjadi nyala api yang turbulen pada titik tertentu pada burner port. Apabila kita naikan lagi kecepatan alir maka seluruh dari nyala api akan menjadi turbulen terdifusi (TDF) dan lapisan break point

akan mendekati burner rim dan panjang dari nyala api terdifusi akan berkurang. Sampai akhirnya *fully turbulent region* akan terbentuk dan nyala api terdifusi akan bersifat independen terhadap perubahan angka reynold dan angka frounde dari aliran yang keluar burner port.



Gambar 2.4. Karakteristik Nyala Api

## 2.8 *Flame Stability*

Pada proses pembakaran dengan bahan bakar gas yang terpenting adalah menjaga nyalanya. Nyala api dikatakan stabil apabila dapat menyala dengan baik secara terus menerus tanpa adanya gangguan yang mempengaruhinya, dan tidak terjadi *flash back* dan *blow out*. Hal ini diperlukan untuk menjaga temperatur dalam proses pembakaran. Kestabilan nyala api yang terjadi sangat tergantung dari tipe burner, laju alir udara dan bahan bakar da mixing.

- *Flash back*, dimana kecepatan campuran relatif rendah dibandingkan dengan kecepatan nyala api yang terjadi, sehingga nyala api masuk merambat ke saluran bahan bakar. Hal ini sangat membahayakan dan harus dihindari.

- *Attached*, dimana kecepatan campuran sama dengan kecepatan nyala api sehingga dasar nyala api didekat outlet burner.
- *Lifted*, dimana kecepatan campuran lebih tinggi dari pada kecepatan nyala api sehingga dasar nyala api terangkat menjauhi outlet burner.
- *Blow out*, dimana kecepatan campuran sangat tinggi dibandingkan dengan kecepatan nyala api, sehingga nyala api akan mati. Hal ini sangat dihindari karena tidak menghasilkan nyala api.

## 2.9 Burner

Sumber energi kalor atau panas diperoleh dari proses pembakaran. Proses pembakaran pada mesin tenaga uap terjadi pada *furnace*. Pada *furnace* terdapat burner. *Furnace* ditempatkan menyatu dengan boiler dan terpisah dengan fluida kerja air yang mengalir pada pipa-pipa boiler. Berdasarkan dari jenis bahan bakar yang digunakan, burner diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Burner untuk bahan- bakar cair
2. Burner untuk bakar bakar gas
3. Burner untuk bahan bakar padat

Berbagai macam teknologi telah dikembangkan untuk menaikkan efisiensi dari proses pembakaran. Efisiensi proses pembakaran yang tinggi akan menaikkan efisiensi total dari *furnace* dan jumlah panas yang ditransfer ke boiler menjadi semakin besar. *Furnace* harus mudah dikendalikan untuk merespon jumlah uap dengan temperatur dan tekanan tertentu.

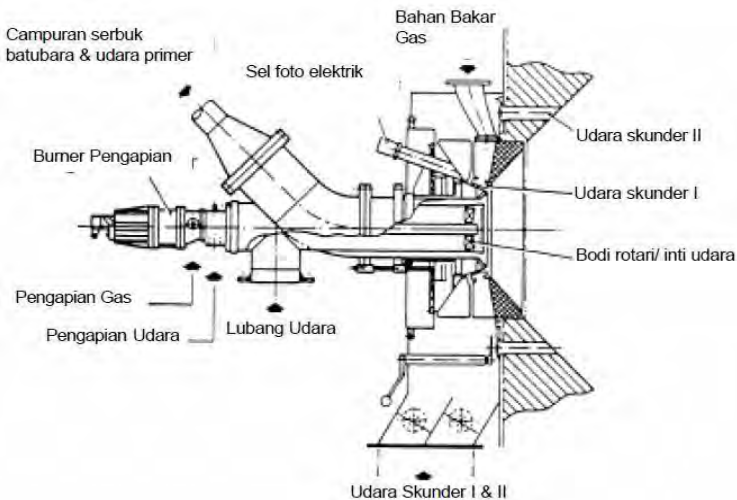
### 2.9.1 Burner untuk Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar yang sangat belimpah di alam. Bahan bakar ini harus melalui proses yang lebih rumit daripada jenis bahan-bakar lainnya untuk terbakar. Bahan bakar padat mengandung air, zat terbang, arang karbon dan abu. Air dan gas terbang yang mudah terbakar harus diuapkan dulu melalui proses pemanasan sebelum arang karbon terbakar. Bahan bakar padat banyak dipakai sebagai sumber energi

pada mesin tenaga uap. Bahan bakar tersebut dibakar di furnace dengan stoker atau dengan burner. Ada beberapa tipe burner atau stoker yang dipasang di furnace seperti berikut ini :

### ➤ *Pulverizer Fuel Burner*

Bahan-bakar padat akan dihancurkan lebih dahulu dengan alat pulverizer sampai ukuran tertentu sebelum dicampur dengan udara. Selanjutnya campuran serbuk batu bara dan udara diberi tekanan kemudian disemprotkan menggunakan difuser. Proses pembakaran dibantu dengan penyalaan dengan bahanbakar gas atau cair untuk menguapkan air dan zat terbang. Udara tambahan diperlukan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.



Gambar 2.5 *Pulverized coal burner*

## 2.10 Blower

Blower adalah alat penyuplai udara. Blower sering digunakan karena tekanan antarannya yang tinggi yang diperlukan untuk mengatasi turun tekan dalam sistem ventilasi. Sebagian besar blower berbentuk sentrifugal. Blower juga dapat

digunakan untuk memasok udara draft ke boiler dan tungku. Beberapa jenis aliran yang diciptakan blower adalah sebagai berikut :

### 2.10.1 Blower Sentrifugal

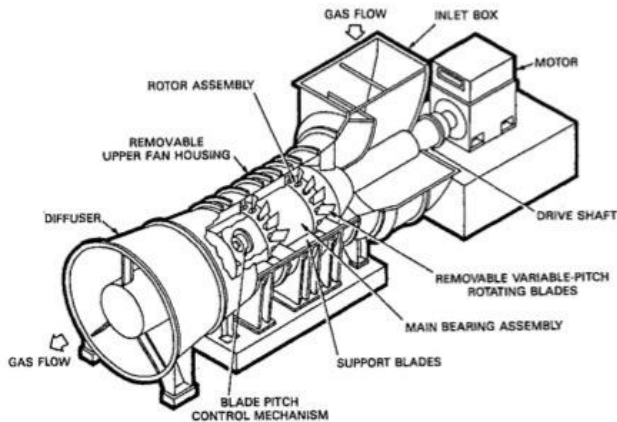
Blower sentrifugal mengolah udara atau gas yang masuk dalam arah aksial dan keluar dalam arah radial. Tipe blower ini mempunyai 3 bilah: bilah radial atau lurus, bilah bengkol maju (forward curved blade), dan bilah bengkol mundur (backward curved blade). Blower bilah radial biasanya digunakan dalam aplikasi yang mempunyai temperatur tinggi dan diameter yang besar. Bilah yang dalam arah radial mempunyai tegangan (stress) yang sangat rendah dibandingkan dengan bilah bengkol maju ataupun mundur. Rotor mempunyai 4-12 bilah dan biasanya beroperasi pada kecepatan rendah. Blower ini digunakan dalam kerja buangan (exhaust work), khususnya untuk gas-gas pada temperatur tinggi dan dengan suspensi dalam alirannya.



Gambar 2.6 Blower Sentrifugal

### 2.11 *Secondary Air*

*Secondary air* adalah udara pembakaran yang dimanfaatkan oleh burner untuk meningkatkan kelengkapan pembakaran agar pembakaran menjadi lebih sempurna. Udara yang dimasukkan ke dalam tungku (selain udara utama) yang masuk baik sebagai campuran dengan bahan bakar atau di sekitar api untuk membantu pembakaran. Udara yang juga digunakan sebagai udara pendingin, berbeda dengan *primary air*.



Gambar 2.7 *Secondary air fan*

Kipas inilah yang menjadi penyuply utama udara ke dalam *furnace* boiler untuk memenuhi kebutuhan proses pembakaran. Berbeda dengan *primary air* yang menitik beratkan kepada tekanan kerjanya, *secondary air* lebih diutamakan kontrol terhadap debit volume-nya. Oleh karena itulah *secondary air* umumnya menggunakan kipas dengan tipe aksial yang dapat menghasilkan volume debit aliran yang tinggi.

Untuk mengatur jumlah udara yang di-supply ke boiler, sudu-sudu pada *secondary air fan* dapat bergerak-gerak fleksibel membuka dan menutup. Semakin besar bukaan sudu maka akan semakin banyak pula udara yang dialirkan oleh kipas ini ke boiler untuk mencukupi kebutuhan proses pembakaran.

## 2.12 Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis

### A. Tekanan statis

Tekanan statis adalah tekanan yang diukur oleh alat ukur yang bergerak bersama – sama aliran dengan kecepatan yang sama. Tekanan statis dapat diukur melalui *wall pressure tap* dan *static pressure probe*.

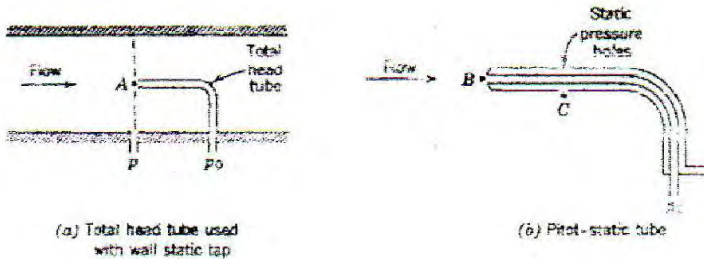




Gambar 2.8 Pengukuran tekanan statis<sup>[2]</sup>

### B. Tekanan Stagnasi

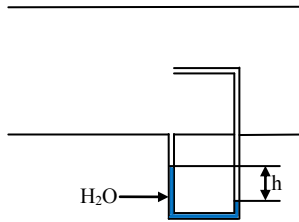
Tekanan stagnasi adalah tekanan yang dapat diukur bila aliran diperlambat sampai kecepatannya sama dengan nol.



Gambar 2.9 Pengukuran serempak tekanan statis dan stagnasi<sup>[2]</sup>

### C. Tekanan Dinamis

Tekanan dinamis adalah perbedaan tekanan antara tekanan stagnasi dan tekanan statis. Jadi berdasarkan perbedaan antara tekanan stagnasi  $P_0$  dan tekanan statis  $P$ , kecepatan aliran dapat dihitung/diukur. Cara inilah yang digunakan tabung pitot untuk mengukur kapasitas aliran. Berikut ini gambar tabung pitot pada suatu aliran untuk mendapatkan kecepatan aliran.



Gambar 2.10 Tabung Pitot

Berdasarkan persamaan Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \frac{P_o}{\rho} + \frac{V_o^2}{2}$$

$V_o = 0$  (tekanan stagnasi)

$$P_o = P + \frac{1}{2} \rho V^2, \text{ sehingga :}$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 = P_o - P \text{ (tekanan dinamis)}$$

$$V^2 = \frac{2(P_o - P)}{\rho}, \text{ dari gambar terlihat bahwa:}$$

$$P_o - P = \rho_{H_2O} g h - \rho_{udara} g h$$

Jadi:

$$V = \sqrt{\frac{2 \rho_{H_2O} g h}{\rho_{ud}}} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

- $V$  = kecepatan aliran, (m/s)
- $\rho_{H_2O}$  = massa jenis air, (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{ud}$  = massa jenis udara, (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  = percepatan gravitasi, (m/s<sup>2</sup>)
- $h$  = beda ketinggian fluida pada tabung pitot (m)
- $P$  = tekanan statis, (Pa)
- $P_o$  = tekanan stagnasi, (Pa)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metoda yang akan digunakan dalam penelitian meliputi, peralatan yang digunakan, parameter – parameter yang terdapat dalam pengujian, prosedur pengambilan data, serta metode yang digunakan dalam penelitian. Penelitian pada *Coal-Oil Burner* ini dilakukan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak yang berlebihan sehingga dapat meminimalisir nilai ekonomi pada suatu sistem pembangkit. Penelitian yang dilakukan ini mengenai pengaruh kecepatan udara dari blower untuk menyuplai coal burner yang nantinya digunakan untuk bahan bakar pembakaran pada *Coal Oil Burner*.



Gambar 3.1 Rancangan *Coal Oil Burner*

### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian yaitu :

➤ Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian adalah batu bara dan minyak solar.

➤ Light Oil Burner ( tipe 722T ), digunakan untuk menyuplai bahan bakar minyak solar pada waktu proses pembakaran. Data dari burner ini adalah sebagai berikut :

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Output-Thermal Power      | : 2,3-5 kg/h – 27-60 kW   |
| Fuel                      | : Light Oil, Viscosity 4-6<br>mm <sup>2</sup> /s at 20 °C             |
| Electrical supply         | : Single Phase 230V $\pm$ 10 %<br>- 50Hz                              |
| Motor                     | : Run current 0,75 A – 2750<br>rpm – 289 rad/s – capacitor<br>$\mu F$ |
| Ignition transformer      | : Secondary 8 kV – 16mA   |
| Pump                      | : 8 – 15 bar – min output 22<br>kg/h                                  |
| Absorbed electrical Power | : 0,17 kW   |



Gambar 3.2 *Light oil burner*

➤ *Carrying Air Blower*

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| Jenis      | : Sentrifugal            |
| Type       | : HCF4 - 2               |
| Size       | : 16 inchi               |
| Capacity   | : 2100 CMH               |
| S.Pressure | : 460 mmH <sub>2</sub> O |
| Power      | : 6,6 Hp                 |
| Speed      | : 2900 rpm               |
| Voltage    | : 380 Phase 3 50 Hz      |

*Carrying air blower* yang digunakan adalah untuk menekan udara bertekanan pada area vakum dari venturi.



Gambar 3.3 *Carrying Air Blower*

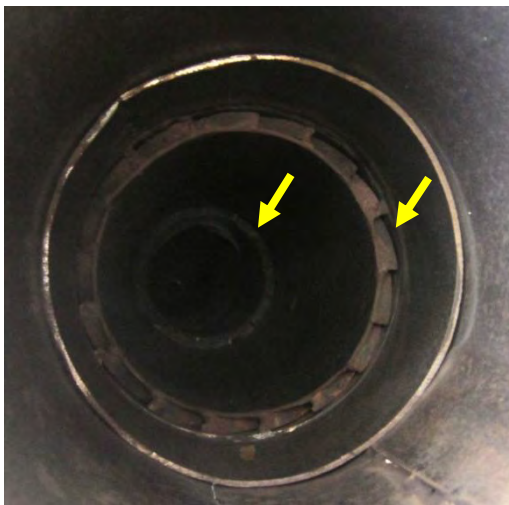
➤ *Swirler Air Blower*

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| Model       | : YYF7112               |
| Volume      | : 720 m <sup>3</sup> /h |
| Speed       | : 2800 rpm              |
| Voltage     | : 220 V                 |
| Pressure(T) | : 1880 pa               |
| Power       | : 0,37 kW               |

*Swirler air blower* digunakan untuk menambahkan sebagian udara untuk proses pembakaran serta mendinginkan permukaan pipa.



Gambar 3.4 *Swirler air blower*



Gambar 3.5 Swirler pada chamber I dan II

➤ *Hopper / Coal Bin*

Tempat penampungan batubara sebelum masuk ke ruang bakar, *coal silo* bisa berbentuk kotak bagian atau tabung dengan krucut pada bagian bawah.



Gambar 3.6 *Hopper / Coal Bin*

➤ Alat Penyangga, digunakan sebagai dudukan dari rancangan alat *coal-oil burner* agar dapat dilakukan pengujian dengan baik.



Gambar 3.7 Alat penyangga *coal-oil burner*

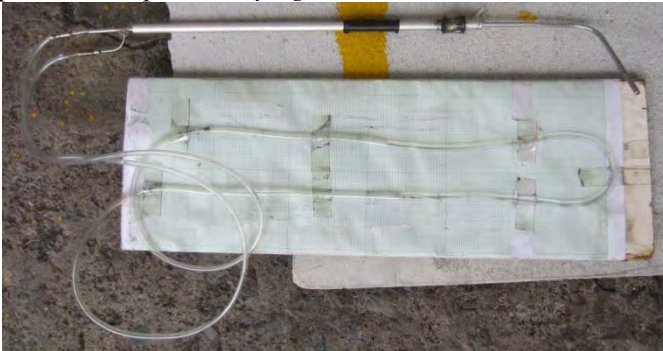


- Tangki bahan bakar solar, digunakan untuk menyimpan bahan bakar solar.

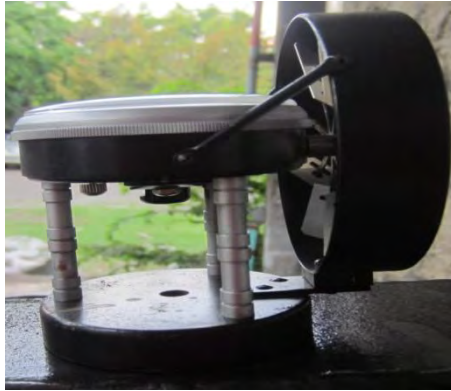


Gambar 3.8 Tangki bahan bakar solar

- Pitot tube dan anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan aliran pada *carrying air blower* dan *swirler air blower*.



Gambar 3.9 *Pitot tube*



Gambar 3.10 Anemometer

- Meteran, berfungsi untuk mengetahui panjang nyala dari proses pembakaran



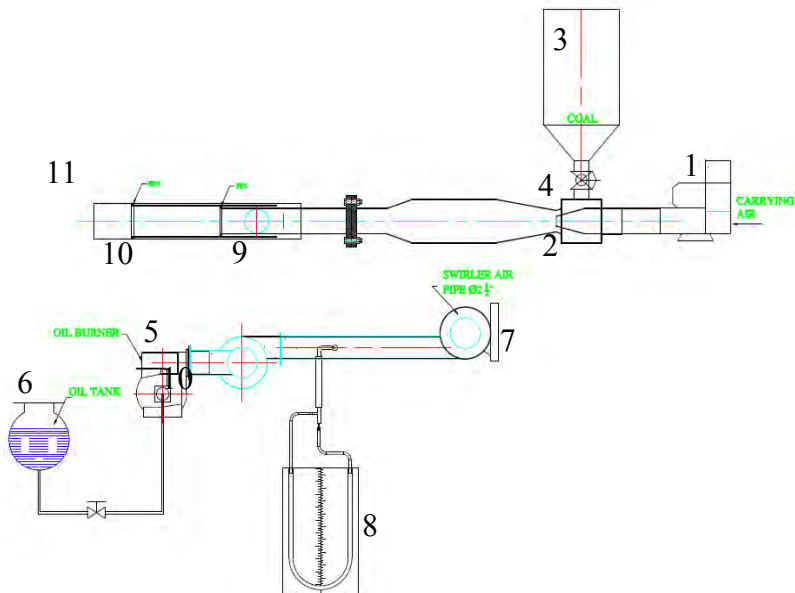
Gambar 3.11 Meteran

- Stopwatch, digunakan untuk mengetahui waktu habisnya bahan bakar yang dihisap dalam area vakum dari venturi.

- Timbangan, digunakan untuk mengukur massa dari batubara yang ditentukan/



Gambar 3.12 Timbangan



Gambar 3.13 Instalasi Percobaan

Keterangan :

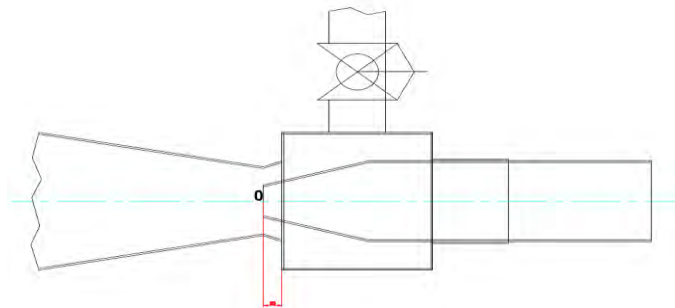
1. *Carrying air blower*
2. Venturi
3. *Hopper / Coal Bin*
4. Valve
5. *Oil burner*
6. Tangki minyak solar
7. *Swirler air blower*
8. Tabung pitot
9. First Chamber
10. Second Chamber
11. Open Chamber

### 3.2 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya :

#### 3.2.1 Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan alat yang meliputi : *light oil burner*, tangki bahan bakar minyak solar, *Carrying air blower* dan *blower*.
2. Memasang alat yang digunakan untuk mensuplai bahan bakar dalam proses pembakaran berserta alat ukur yang diperlukan dengan skema yang telah direncanakan dan dilakukan pengecekan ulang fungsi dari masing – masing alat.
3. Mengatur jarak venturi pada titik 0.



Gambar 3.14 Titik pengukuran venturi

4. Mengatur bukaan *blower* untuk mendapatkan nilai beda ketinggian dari pengukuran tabung pitot, sehingga mendapatkan kecepatan aliran udara. *swirler* air yang digunakan adalah konstan.



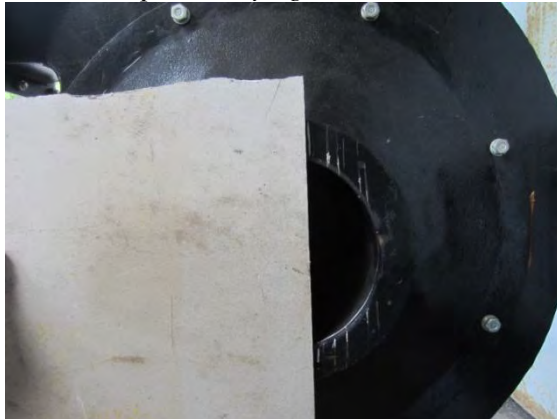
Gambar 3.15 Pengaturan kecepatan *swirler air blower*

5. Mempersiapkan bahan bakar yang diperlukan, yaitu batubara dan bahan bakar minyak solar untuk proses pembakaran. sebelum dilakukan proses pembakaran, bahan bakar batubara dijemur terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air dalam bubuk batubara tersebut.
6. Menimbang bahan bakar batubara sampai pada massa yang ditentukan yaitu 2kg.



Gambar 3.16 Proses penimbangan massa batubara 2kg

7. Nyalakan burner sampai mencapai kondisi nyala api yang diinginkan pada *flow rate* bahan bakar minyak solar tertentu dan *flow rate* udara tertentu.
8. Memvariasikan kecepatan *carrying air blower* dengan mengatur bukaan pada *carrying air blower*.

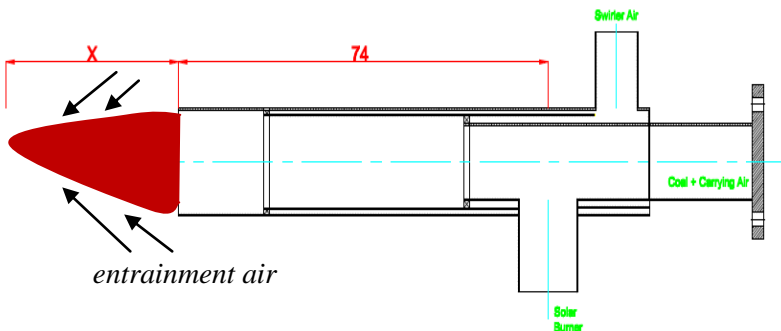


Gambar 3.17 Pengaturan kecepatan *carrying air blower*

9. Setelah kondisi diatas dapat tercapai, maka dapat dicatat waktu habisnya bahan bakar batubara dengan massa 2kg, fenomena panjang nyala api yang terjadi.

### 3.2.2 Tahap Pengambilan Data

Pada tahap ini, data – data diambil dengan melakukan pengaturan variasi kecepatan dari *carrying air blower*. Variabel yang diambil dari percobaan ini yaitu panjang nyala api dari proses pembakaran serta waktu habisnya bahan bakar batubara dalam area vakum dari venturi. Cara untuk mendapatkan panjang nyala yaitu diukur dari titik nyala api pada light - oil burner sampai pada ujung nyala api. Dimana panjang nyala dari titik nyala burner sampai ujung pipa adalah 74mm, kemudian ditambahkan panjang nyala api yang terjadi dari ujung pipa sampai pada panjang tertentu pada open chamber (X).



Gambar 3.18 Pengukuran panjang nyala api

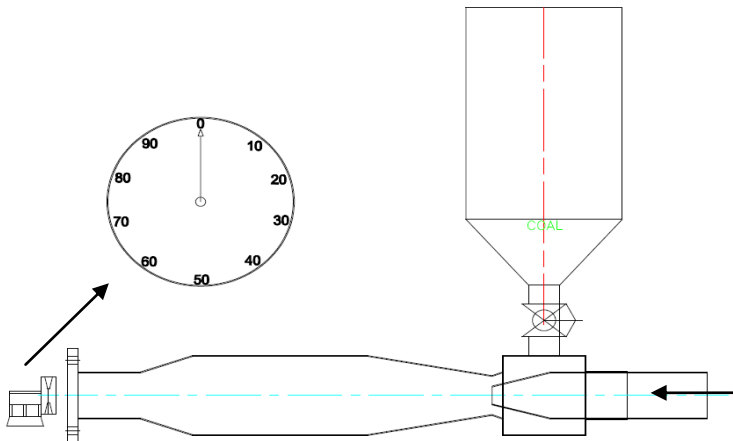
waktu habisnya bahan bakar dalam area vakum dapat diambil secara bersamaan dengan menggunakan stopwatch, seiring dengan habisnya nyala api saat proses pembakaran. Kemudian untuk setiap pengambilan data dengan memvariasikan kecepatan dari *carrying air blower* yang perlu dicatat antara lain :

- Waktu habisnya bahan bakar batubara dengan variasi kecepatan *carrying air* saat venturi pada titik 0.

- Kecepatan aliran *carrying air* saat venturi pada titik 0cm.
- Panjang nyala api burner yang telah dicampur dengan bahan bakar batubara serta penambahan *swirler air* yang ditentukan.
- Lakukan 3 kali pengulangan pengambilan data dengan variasi kecepatan *carrying air blower* pada bukaan blower tersebut.
- pengambilan data diatas dilakukan dengan variasi kecepatan *carrying air blower* saat venturi pada titik 0.



Gambar 3.19 Pengambilan data pada *carrying air blower*



Gambar 3.20 Pengaturan variasi kecepatan *carrying air blower*



Setelah blower primary air dinyalakan, atur bukaan *carrying air blower* untuk mendapatkan kecepatan aliran udara yang diinginkan dalam m/s tertentu. Dengan menggunakan alat anemometer, dimana 1 putaran anemometer = 100m dan secara bersamaan diukur waktu dalam 1 putaran dengan menggunakan stopwatch, sehingga didapatkan meter/detik dalam 1 putaran jarum anemometer tersebut (lihat gambar 3.19). Untuk lebih valid dilakukan 3 putaran jarum anemometer = 300m. Pada *swirler air blower*, diukur dengan menggunakan pitot tube dengan cara seperti gambar dibawah. Sehingga kecepatan aliran dapat diketahui dengan perumusan,

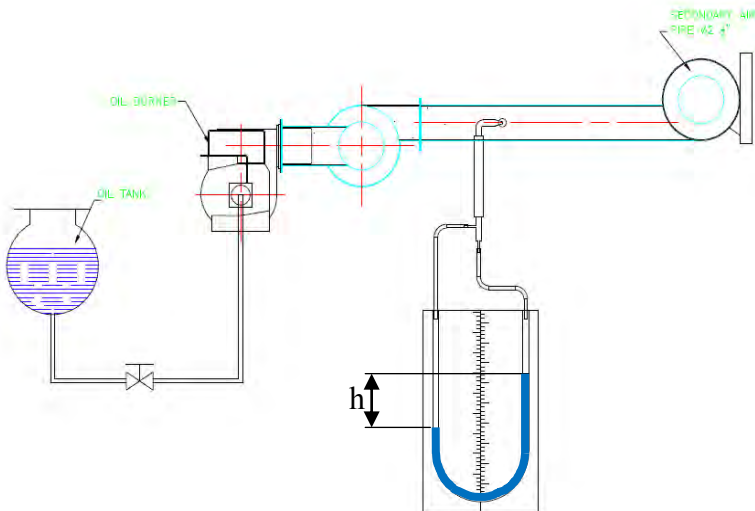
$$V = \sqrt{\frac{2\rho_{H_2O}gh}{\rho_{ud}}}$$

Dimana :

- V = kecepatan aliran, (m/s)
- $\rho_{H_2O}$  = massa jenis air, ( $\text{kg/m}^3$ ) = 1000  $\text{kg/m}^3$
- $\rho_{ud}$  = massa jenis udara, ( $\text{kg/m}^3$ ) = 1,1028  $\text{kg/m}^3$
- g = percepatan gravitasi, ( $\text{m/s}^2$ ) = 9,81  $\text{m/s}^2$
- h = beda ketinggian fluida pada tabung pitot (m)



Gambar 3.21 Pengambilan data *swirler air blower*



Gambar 3.22 Pengukuran kecepatan aliran *swirler air blower*

Adapun parameter – parameter yang terdapat dalam tahap pengujian yang mempengaruhi waktu yang diperlukan untuk bahan bakar terbakar. Parameter – parameter tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Parameter yang terdapat dalam pengujian

| Parameter  |  |                                     |  |
|--|--|-------------------------------------|--|
| Yang divariasikan                                | Tetap (konstan)                          | Yang diukur                         | Yang dihitung  |
| kecepatan aliran pada <i>carrying air blower</i> | Kecepatan aliran pada <i>Swirler air</i> | Panjang nyala api                   | Mass flow rate <i>carrying air</i> , <i>Swirler air</i> , dan batubara |
|  |  | Waktu habisnya bahan bakar batubara |  |

### 3.2.3 Tahap Analisa Perhitungan

Prosedur yang digunakan dalam analisa perhitungan adalah sebagai berikut :

- Menghitung kebutuhan oksigen dalam (kg/kgbb) dengan menggunakan metoda gravimetri beserta data – data yang di dapat dari PT.PJB Unit Pembangkitan Paiton yaitu sebagai berikut:

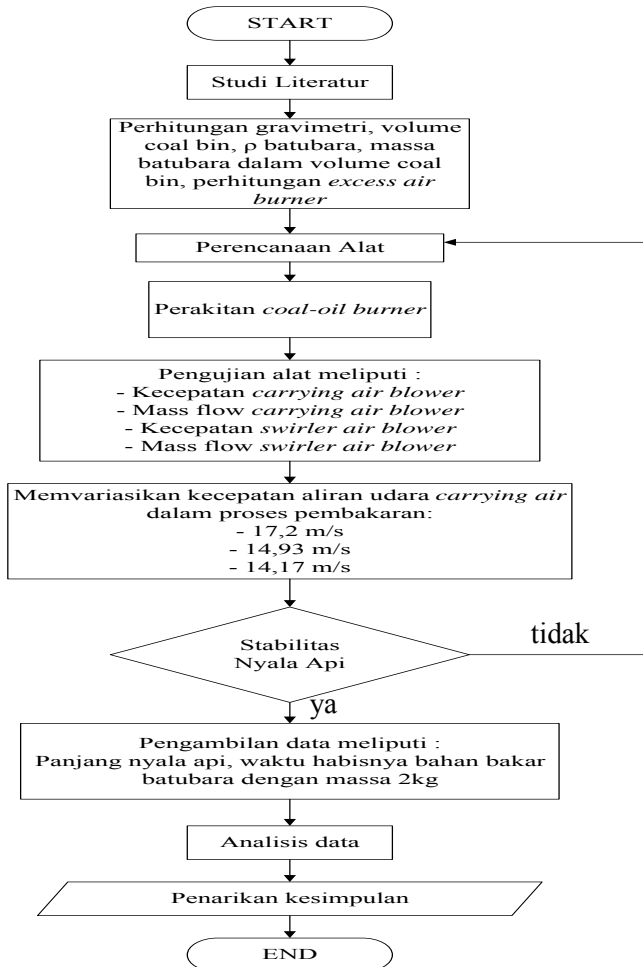
Tabel 3.2 Komposisi bahan bakar batubara

| Parameters                      | Unit | Results           |                 |           | Standard Methods |
|---------------------------------|------|-------------------|-----------------|-----------|------------------|
|                                 |      | As Received Basis | Air Dried Basis | Dry Basis |                  |
| Total Moisture                  | %    | 26.37             | -               | -         | ASTM D3302M-10   |
| Moisture in The Analysis Sample | %    | -                 | 13.22           | -         | ASTM D3173-11    |
| Ash Content                     | %    | 4.31              | 5.08            | 5.85      | ASTM D3174-11    |
| Carbon                          | %    | 51.12             | 60.25           | 69.43     | ASTM-D5373-2008  |
| Hydrogen                        | %    | 3.12              | 3.68            | 4.24      | ASTM-D5373-2008  |
| Nitrogen                        | %    | 0.98              | 1.16            | 1.34      | ASTM-D5373-2008  |
| Total Sulphur                   | %    | 0.31              | 0.37            | 0.43      | ASTM D4239-11    |
| Oxygen by difference            | %    | 13.78             | 16.24           | 18.71     | ASTM D3176-09    |

- Menghitung *excess air* solar burner dengan menggunakan metoda stoikiometri
- Menghitung  $\rho_{\text{batubara}}$  dan volume *coal bin* sebelum melakukan percobaan *coal-oil burner* untuk mendapatkan massa batubara yang ada pada *coal bin*.

### III.3 Metode

Dalam Tugas Akhir ini akan digunakan metode penelitian secara eksperimen. Dengan urutan pelaksanaan penelitian sebagai berikut :



Gambar 3.23 Diagram alir Metode Penelitian

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi perhitungan dan pembahasan data dari hasil percobaan. Data yang diperoleh dari penelitian ini berupa data kuantitatif dan kualitatif. Adapun permasalahan yang akan dibahas dan ditampilkan antara lain analisa kecepatan *carrying air*, *Air fuel ratio*, laju pembakaran per satuan panjang nyala api. Pada penelitian ini dilakukan variasi kecepatan dengan bukaan *carrying air blower* dalam proses pembakaran.

### 4.1 Perhitungan Pembakaran

#### 4.1.1 Perhitungan kebutuhan oksigen dalam Kg/KgBB

Pada penelitian ini digunakan batubara sub bituminous C dengan data yang diperoleh dari PT.PJB Unit Pembangkitan Paiton yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data parameter - parameter batubara dari PT.PJB Unit Pembangkitan Paiton

| Parameters                      | Unit | Results           |                 |           | Standard Methods |
|---------------------------------|------|-------------------|-----------------|-----------|------------------|
|                                 |      | As Received Basis | Air Dried Basis | Dry Basis |                  |
| Total Moisture                  | %    | 26.37             | -               | -         | ASTM D3302M-10   |
| Moisture in The Analysis Sample | %    | -                 | 13.22           | -         | ASTM D3173-11    |
| Ash Content                     | %    | 4.31              | 5.08            | 5.85      | ASTM D3174-11    |
| Carbon                          | %    | 51.12             | 60.25           | 69.43     | ASTM-D5373-2008  |
| Hydrogen                        | %    | 3.12              | 3.68            | 4.24      | ASTM-D5373-2008  |
| Nitrogen                        | %    | 0.98              | 1.16            | 1.34      | ASTM-D5373-2008  |
| Total Sulphur                   | %    | 0.31              | 0.37            | 0.43      | ASTM D4239-11    |
| Oxygen by difference            | %    | 13.78             | 16.24           | 18.71     | ASTM D3176-09    |

Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa,

C = 51,12 %

N = 0,98%

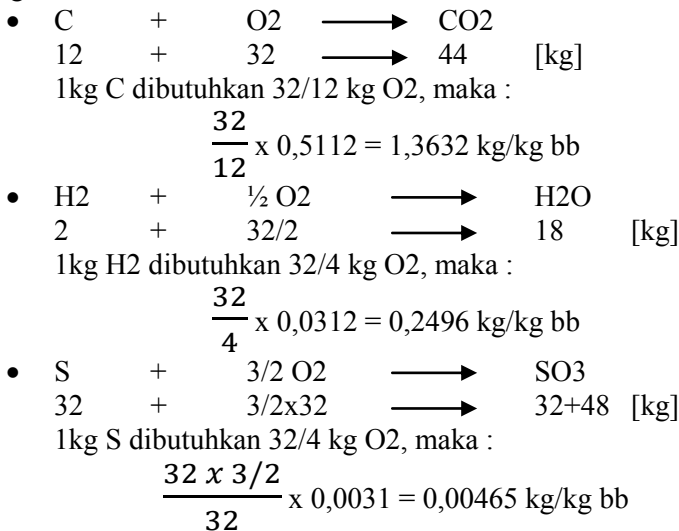
Abu = 4,31%

S = 0,31 %

H2 = 3,12 %

O2 = 13,78 %

Maka, dengan metode gravimetri dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :



Sehingga, total kebutuhan O<sub>2</sub> (x) = 1,61745 kg/kgBB

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= (x - 0,1378) \\
 &= (1,61745 - 0,1378) \text{ kg/kg bb} \\
 &= 1,47965 \text{ kg/kg bb}
 \end{aligned}$$

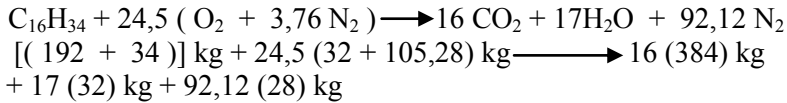
- $$\bullet \text{ udara kering yang dibutuhkan} = \frac{1,47965}{0,23} = 6,433 \text{ kg/kg bb}$$

- $$\begin{aligned}
 \bullet \text{ udara standar yang dibutuhkan} &= \frac{1,47965/0,23}{0,987} \\
 &= 6,518 \text{ kg/kg bb}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.2 Perhitungan *Excess Air Solar Burner*

Pada percobaan ini, digunakan Light Oil Burner ( tipe 722T ), untuk menyuplai bahan bakar minyak solar saat proses pembakaran. Pada Light Oil Burner terdapat data  $\dot{m}_{\text{burner}}$  sebesar 5

kg/h, sehingga untuk mengetahui udara yang dibutuhkan dalam 1kg bahan bakar solar digunakan metoda stoikiometri seperti berikut :



Rasio udara bahan bakar dengan basis massa adalah

$$\text{AF} = \frac{24,5 + 24,5(3,76)}{1} = 116,62 \frac{\text{kmol (udara)}}{\text{kmol (bahan bakar)}}$$

Rasio udara bahan bakar dengan basis massa adalah

$$\text{AF} = [116,62 \frac{\text{kmol (udara)}}{\text{kmol (bahan bakar)}}] [\frac{28,97 \frac{\text{kg (udara)}}{\text{kmol (udara)}}}{226 \frac{\text{kg (bahan bakar)}}{\text{kmol (bahan bakar)}}}]$$

$$= 14,9 \frac{\text{kg (udara)}}{\text{kg (bahan bakar)}}$$

1kg  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$  dibutuhkan 14,9 kg udara/kg bahan bakar  $\rightarrow 1 : 14,9$  untuk mendapatkan  $\dot{m}_{\text{udara}}$  stoikiometri solar, dilakukan pengambilan data pada percobaan didapat,

$Q_{\text{solar}} = 4 \text{ liter/hr}$

$$= 0,004 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ serta } \rho_{\text{solar}} = 850 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{maka, } \dot{m}_{\text{udara}} \text{ stoikiometri solar} &= Q \times \rho_{\text{solar}} \\ &= 0,004 \text{ m}^3/\text{hr} \times 850 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3,4 \text{ kg/hr} \times 14,9 \text{ kg udara} \\ &= 50,8 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

sehingga, dengan asumsi 5% *excess air* maka :

$$5\% \text{ excess air} \times \dot{m}_{\text{udara}} \text{ stoikiometri solar} = \frac{5}{100} \times 50,8 \text{ kg/hr}$$

$$= 2,54 \text{ kg/hr}$$

#### 4.2 Data Awal Perencanaan

- Jenis batubara yang digunakan merupakan batubara sub-bituminus C
- Jenis solar yang digunakan adalah dex
- Kecepatan pada *swirler air* adalah konstan dengan ditutup 1/2 pada *swirler air blower*
- Jarak saat venturi pada titik 0cm



- Kecepatan *carrying air* divariasikan
- Titik pengukuran untuk alat ukur tabung pitot diasumsikan *fully develop flow*
- Temperatur udara sekitar pada percobaan adalah suhu kamar, tidak ada pemanasan awal
- Lama pengambilan data berlangsung dari pukul 10.00 – 17.00 WIB

#### 4.2.1 Menghitung Laju Aliran Massa Batubara dan *Carrying Air*

Laju aliran massa batubara dihitung dengan menggunakan perumusan,

$$\rho_{\text{batubara}} = \frac{m}{V} ; \text{dimana} :$$

–  $\rho_{\text{batubara}}$  = densitas batubara [ $\text{kg/m}^3$ ]

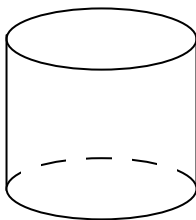
–  $m$  = massa batubara [kg]

–  $V$  = volume hopper [ $\text{m}^3$ ]

sehingga,  $m_{\text{batubara}}$  = massa batubara / waktu habisnya batubara yang terhisap dalam area vakum dari venturi

#### 4.2.2 Menghitung Densitas Batubara

Densitas batubara diperoleh dengan cara menimbang berat bubuk batubara dengan volume tertentu, yaitu :



$$\begin{aligned} \text{Volume tabung} &= \frac{1}{4} \text{ alas} \times \text{tinggi} ; A = \pi r^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi d^2 \times t \\ ; D &= 6,3\text{cm} ; t = 4,6\text{cm} \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 6,3\text{cm}^2 \times 4,6\text{cm} \\ &= 143,39 \text{ cm}^3 \\ &= 0,000143 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat massa bubuk batubara dalam volume tertentu diperoleh dari :

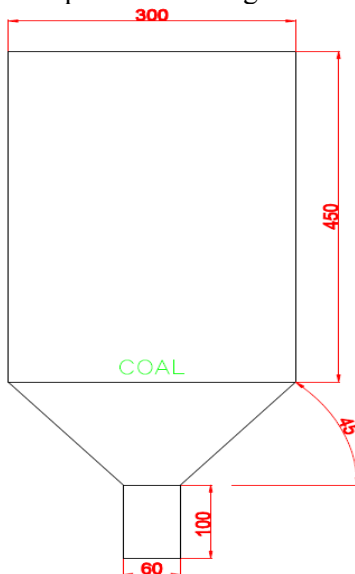
- Berat kaleng = 10,30 g
- Berat penuh =  $\frac{106,66 \text{ g}}{96,36 \text{ g}} = 0,09636 \text{ kg}$

Sehingga,  $\rho_{\text{batubara}} = \frac{m}{V}$

$$\rho_{\text{batubara}} = \frac{0,09636 \text{ kg}}{0,000143 \text{ m}^3} = 674 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.2.3 Menghitung Volume *Coal Bin*

Pada percobaan Tugas Akhir ini, massa yang digunakan yaitu 2kg batubara sehingga tidak terisi secara penuh pada *coal bin* yang ada. Dimensi dari *coal bin* pada rancangan burner untuk menghitung volume dapat dilihat dari gambar berikut :



Gambar 4.1 Bentuk *coal - bin*

pada luasan tersebut terdapat luasan kerucut dan luasan tabung.

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung} &= \frac{1}{2} \text{ alas} \times \text{tinggi} & ; A &= \pi r^2 \\ &= \frac{1}{2} \pi r^2 \times t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kerucut} &= \frac{1}{3} \text{ alas} \times \text{tinggi} \\ &= \frac{1}{3} \pi r^2 \times t \end{aligned}$$

dimana, volume diatas diperoleh dengan data – data ssebagai berikut :

- ID tabung = 60mm
- Tinggi tabung = 100mm
- ID kerucut = 300mm
- Tinggi kerucut = 150mm
- 

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung} &= \frac{1}{4} \pi \text{ID}^2 \times t & , \text{ untuk tabung besar} \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,3\text{m}^2 \times 0,45\text{m} \\ &= 0,032 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung} &= \frac{1}{4} \pi \text{ID}^2 \times t & , \text{ untuk tabung kecil} \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,06\text{m}^2 \times 0,1\text{m} \\ &= 2,83 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kerucut} &= \frac{1}{3} \pi r^2 \times t & , \text{ untuk kerucut besar} \\ &= \frac{1}{3} \pi 0,15\text{m}^2 \times 0,15\text{m} \\ &= 3,534 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kerucut} &= \frac{1}{3} \pi r^2 \times t & , \text{ untuk kerucut kecil} \\ &= \frac{1}{3} \pi 0,022\text{m}^2 \times 0,022\text{m} \\ &= 1,115 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kerucut} &= \text{V.kerucut besar} - \text{V.kerucut kecil} \\ &= 3,534 \times 10^{-3} - 1,115 \times 10^{-5} \\ &= 3,52285 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka, volume *coal bin* keseluruhan adalah :

$$\begin{aligned} \text{V. tabung besar} + \text{V.tabung kecil} + \text{V.kerucut} &= 0,032 \text{ m}^3 + \\ 2,83 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 3,52285 \times 10^{-3} \text{ m}^3 &= 0,0358 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga, berat massa dari bubuk batubara dengan volume *coal bin* tersebut adalah

$$\begin{aligned}\rho_{\text{batubara}} &= \frac{m}{V} \\ m &= \rho_{\text{batubara}} \times V \\ &= 674 \text{ kg/m}^3 \times 0,0358 \text{ m}^3 \\ &= 24,1292 \text{ kg}\end{aligned}$$

Untuk mengetahui laju aliran massa batubara dilakukan percobaan saat venturi pada titik 0 yang telah ditentukan. *Coal bin* diisi dengan 2kg bahan bakar batubara dengan volume tertentu (seperti pada perhitungan diatas) kemudian valve pada *coal bin* dibuka penuh dan dihitung waktu menggunakan stopwatch sampai pada detik keberapa batubara tersebut habis.

Laju aliran massa udara dihitung dengan menggunakan data awal kecepatan aliran *carrying air*,

| Kecepatan <i>Carrying Air</i> |
|-------------------------------|
| V(m/s)                        |
| 17.2                          |
| 14.93                         |
| 13.17                         |

dimana data diatas didapat dengan cara menggunakan alat anemometer pada pipa sambungan burner, dan memvariasikan bukaan blower *carrying air*, maka :

Contoh Perhitungan : untuk  $V = 17,2 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}\diamond Q &= V \times A, \text{ dimana ID} = 100\text{mm} \text{ maka } A = 0,00785 \text{ m}^2 \\ Q &= 17,2 \text{ m/s} \times 0,00785 \text{ m}^2 \\ Q &= 0,135 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

maka, laju aliran massa udara dapat diketahui dengan perumusan :

$$\begin{aligned}\diamond \dot{m}_{\text{udara}} &= Q \times \rho_{\text{udara}} \\ \dot{m}_{\text{udara}} &= 0,135 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,1028 \text{ kg/m}^3 \\ \dot{m}_{\text{udara}} &= 0,149 \text{ kg/s} = 536,040 \text{ kg/hr}\end{aligned}$$

Selanjutnya, laju aliran massa batubara dapat diketahui dengan perumusan :

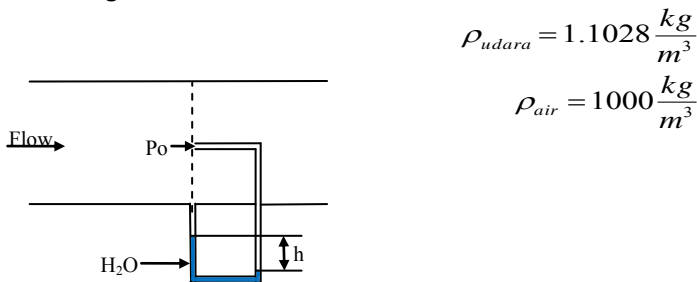
- ❖  $\dot{m}_{\text{batubara}} = \text{massa batubara} / \text{waktu habis batubara}$   
 $\dot{m}_{\text{batubara}} = 2 \text{ kg} / 23,95 \text{ detik}$   
 $\dot{m}_{\text{batubara}} = 0,084 \text{ kg/s} = 300,626 \text{ kg/hr}$

Sehingga, rasio udara/BB dapat diketahui dengan

- ❖  $\text{AFR} = \dot{m}_{\text{udara}} / \dot{m}_{\text{batubara}}$   
 $\text{AFR} = 536,040 \text{ kg/hr} / 300,626 \text{ kg/hr}$   
 $\text{AFR} = 1,783$

#### 4.2.4 Menghitung Laju Aliran Massa Udara pada *Swirler Air Blower*

Laju aliran massa udara diperoleh dengan melakukan percobaan untuk mengetahui kecepatan aliran udara dari *swirler air blower*, dengan cara :



Contoh perhitungan :

Dalam mengetahui kecepatan aliran pada pipa *swirler air blower* dilakukan dengan menggunakan tabung pitot dan diukur pada lubang pipa untuk memasukkan ujung pitot seperti pada gambar diatas, sehingga diperoleh :

$\Delta h = 17 \text{ mm}$  , maka

$$V = \sqrt{\frac{2(P_o - P)}{\rho_{\text{udara}}}}$$

$$P_o - P = \rho_{\text{air}} g h$$

$$V = \sqrt{\frac{2(\rho_{air}gh)}{\rho_{udara}}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2\left(1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.017m\right)}{1.1028 \frac{kg}{m^3}}}$$

$$V = 17,39 \frac{m}{s}$$

Dari kecepatan yang diperoleh, didapat debit aliran dengan perumusan :

$$Q = V \times A \quad ; \quad A = \pi r^2, \text{ ID} = 2,5\text{inch}$$

$$A = \pi 0,0635^2$$

$$= 0,003165 \text{ m}^2$$

$$Q = 17,39 \text{ m/s} \times 0,003165 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,055 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sehingga, laju aliran massa udara (saat bukaan 1/2 aliran udara) :

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$= 0,055 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,1028 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,061 \text{ kg/s} = 218,511 \text{ kg/hr}$$

#### 4.3 Hasil dan Analisa Percobaan

Indikator *performance* dari burner meliputi, rasio udara dan bahan bakar, turbulensi aliran, distribusi temperatur, serta gas buang. Pada percobaan ini, hanya untuk mengetahui melalui rasio udara dan bahan bakar serta melalui turbulensi aliran.

#### 4.3.1 Analisa Air-Fuel Ratio

Dengan penambahan laju aliran massa udara pada *swirler air* sebesar 218,511 kg/hr dengan kecepatan (  $V = 17,39 \text{ m/s}$  ), maka total laju aliran massa udara untuk proses pembakaran dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel 4.2 Total laju aliran massa udara

| Kecepatan<br><i>Carrying Air</i> | Laju aliran massa<br><i>Carrying Air</i> |                         | Laju aliran massa<br><i>Swirler Air</i> |                         |
|----------------------------------|--|-------------------------|---|-------------------------|
| V(m/s)                           | $\dot{m}(\text{kg/s})$                   | $\dot{m}(\text{kg/hr})$ | $\dot{m}(\text{kg/s})$                  | $\dot{m}(\text{kg/hr})$ |
| 17.2                             | 0.149                                    | 536.040                 | 0.061                                   | 218.511                 |
| 14.93                            | 0.129                                    | 465.295                 |   |                         |
| 13.17                            | 0.114                                    | 410.445                 |   |                         |

| Kecepatan<br><i>Carrying Air</i> | 5% excess<br>air oil<br>burner | Total $\dot{m}_{\text{udara}}$ | Kebutuhan<br>udara<br>stoikiometri |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| V(m/s)                           | $\dot{m}(\text{kg/hr})$        | $\dot{m}(\text{kg/hr})$        | $\dot{m}(\text{kg/hr})$            |
| 17.2                             | 2.540                          | 757.091                        | 1959.482                           |
| 14.93                            |                                | 686.346                        | 1493.622                           |
| 13.17                            |                                | 631.496                        | 1166.532                           |

dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa jika semakin tinggi kecepatan aliran pada *carrying air*, maka semakin besar laju aliran massa udara yang diperlukan untuk proses pembakaran. Jika total laju aliran massa udara tersebut dicampur dengan laju aliran massa bahan bakar batubara maka dapat diketahui rasio dari udara dan bahan bakar dari proses pembakaran tersebut. Pada tabel diatas, dapat dilihat bahwa kebutuhan udara untuk stoikiometri sangat besar dengan laju aliran massa batubara tertentu, misalnya :

dengan  $\dot{m}$  batubara = 300,626 kg/hr, maka

Kebutuhan udara stoikiometri = 300,626 kg/hr  $\times$  AFR stoikiometri

$$= 300,626 \text{ kg/hr} \times 6,518$$

$$= 1959,482 \text{ kg/hr}$$

Perbedaan  $\dot{m}$  udara total dengan kebutuhan udara stoikiometri sangat besar sehingga dapat dikatakan bahwa proses pembakaran dari percobaan sangat kaya akan batubara. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut :  
tabel berikut :

Tabel.4.3 *Air Fuel Ratio*

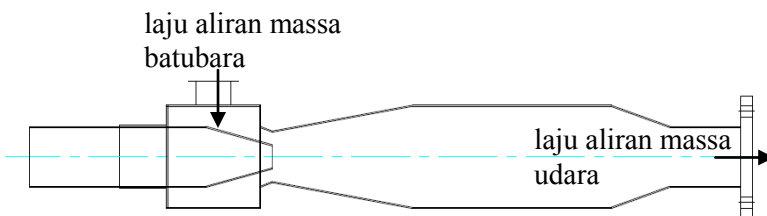
| $\dot{m}$ udara total(kg/hr) | $\dot{m}$ batubara (kg/hr) | AFR (Udara/BB) | AFR stoikiometri |
|------------------------------|----------------------------|----------------|------------------|
| 757.091                      | 300.626                    | 2.518          | 6.518            |
| 686.346                      | 229.153                    | 2.995          |                  |
| 631.496                      | 178.971                    | 3.528          |                  |

waktu habisnya batubara yang dihisap pada area vakum dari venturi akan mempengaruhi nilai dari laju aliran massa batubara, jika waktu habisnya batubara yang ada pada coal bin semakin cepat habis, maka semakin besar laju aliran massa batubara dengan massa batubara 2kg. Sehingga massa batubara yang besar akan mempengaruhi nilai AFR yang semakin kaya akan batubara. Dari hasil rasio udara dan bahan bakar pada tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai AFR tersebut menandakan kaya akan batubara dibandingkan dengan udara, hal ini dikarenakan bahan bakar batubara yang terhisap oleh area vakum dari venturi yang cepat serta tidak konstan sehingga nilai AFR tidak mencapai stoikiometri yang diinginkan. Dengan tidak konstannya hisapan bahan bakar batubara yang masuk ke area vakum, maka mengakibatkan fenomena panjang nyala yang tidak konstan pula.

Hasil percobaan rasio udara bahan bakar batubara tersebut didapat melalui perbandingan antara laju aliran massa udara dan bahan bakar batubara. Dimana laju aliran massa udara



didapatkan melalui kecepatan pada sambungan pipa burner setelah venturi sedangkan laju aliran massa didapatkan dengan menghitung waktu habisnya batubara saat masuk pada area vakum dari venturi. Fenomena yang terjadi pada percobaan, bahan bakar batubara yang ada pada coal bin tidak dapat masuk secara konstan pada area vakum dari venturi sehingga mengakibatkan tidak konstannya hisapan area vakum dari venturi tersebut, sehingga waktu yang dicatat tidak bisa akurat. sedangkan pada laju aliran massa udara, disebabkan adanya *losses* pada aliran udara yang mengalir pada pipa, seperti saat melewati venturi serta difuser ataupun nozzle akan terjadi olakan - olakan yang mengakibatkan kecepatan aliran terganggu. Sehingga laju aliran massa udara yang didapatkan tidak maksimal.



Gambar 4.2 Laju aliran massa udara dan batubara

#### 4.3.2 Analisa Hasil Fenomena Nyala Api dengan Variasi Kecepatan *Carrying Air* saat Venturi Pada Titik 0cm

Pada percobaan Tugas Akhir ini, dilakukan variasi kecepatan *carrying air* saat venturi pada titik 0cm yang ditentukan. Fenomena panjang nyala api yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 (a),(b),(c), Fenomena panjang nyala api pada kecepatan 17,2 m/s

Dari gambar diatas panjang nyala api pada kecepatan 17,2 m/s terlihat yang paling panjang dibandingkan dengan kecepatan 14,93 m/s dan 13,17 m/s. Pengukuran panjang nyala tersebut dimulai dari titik nyala api pada burner sehingga ditambahkan jarak titik nyala burner sampai pada ujung pipa yaitu 74mm kemudian ditambahkan nyala api pada *open chamber* yang terlihat pada gambar diatas. Panjang nyala pada kecepatan 17,2 m/s yaitu sebesar  $274 \text{ mm} + 74 \text{ mm} = 348 \text{ mm} = 3,48 \text{ m}$ .

Jika dilihat nyala api yang terjadi secara visual, dapat dilihat bahwa pada kecepatan 17,2 m/s nyala api semakin panjang serta nyala yang berwarna putih lebih banyak daripada kecepatan 14,93 m/s dan 13,17 m/s. sehingga radiasi yang terjadi semakin cepat untuk memanasi *furnace* dari boiler. kemudian dilihat dari awal pembakaran, terlihat bahwa pada kecepatan 17,2 m/s batubara belum terbakar sepenuhnya terutama pada daerah aliran swirler air (berwarna hitam), hal ini disebabkan karena kecepatan nyala api lebih tinggi daripada kecepatan perambatan nyala. Hal ini dipengaruhi juga oleh banyaknya bahan bakar batubara yaitu

sebesar 300,626 kg/hr, sehingga terlihat banyaknya batubara yang belum terbakar pada awal pembakaran. Kemudian pada jarak tertentu batubara semakin terbakar sehingga nyala api membesar. Hal ini diakibatkan adanya konsentrasi  $O_2$  (*entrainment air*) yang masuk ke dalam proses pembakaran pada jarak tertentu tersebut, sehingga pada waktu  $O_2$  masuk akan dikonsumsi oleh bahan bakar batubara maka terjadi nyala api yang semakin membesar.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 (a),(b),(c), Fenomena panjang nyala api pada kecepatan 14,93 m/s

Pada gambar diatas, dengan kecepatan 14,9 m/s terlihat sedikit lebih pendek daripada kecepatan 17,2 m/s. Panjang nyala dengan kecepatan 14,93 m/s yaitu sebesar  $250 \text{ mm} + 74 \text{ mm} = 324 \text{ mm} = 3,54 \text{ m}$ . Pada gambar (a) nyala api yang terjadi seolah-olah tidak dapat mengembang kedepan, sehingga volume dari nyala api tersebut terlihat membesar. Hal ini terjadi, dimungkinkan adanya angin dari arah yang berlawanan sehingga membuat nyala api tidak dapat mengembang ke depan seperti yang terlihat pada gambar (b) dan (c).

Pada kecepatan 14,93 m/s, nyala api yang terjadi terlihat cenderung tidak konstan. Volume yang tidak beraturan dan nyala api yang berwarna putih tidak begitu terlihat baik pada gambar (b) menandakan adanya masukan batubara / konsumsi dari bahan bakar batubara yang masuk tidak konstan, sehingga nyala api yang terlihat seakan-akan terputus. Pada kecepatan ini, laju aliran batubara yang diperoleh yaitu sebesar 229,153 kg/hr, sehingga rasio udara dan bahan bakar yang didapat lebih

mendekati stoikiometri dari pada kecepatan 17,2 m/s yaitu sebesar 1 : 2,995.



(a)



(b)





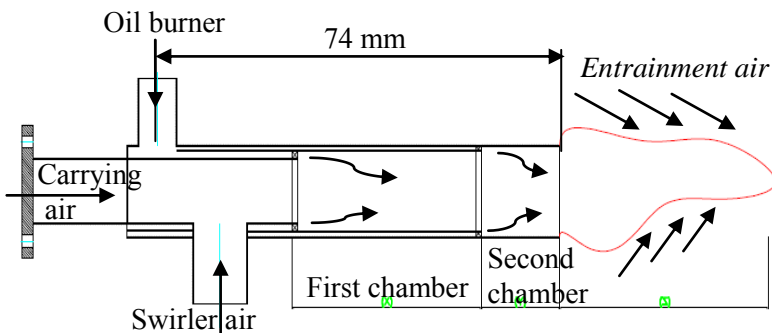
(c)

Gambar 4.5 (a), (b), (c), Fenomena panjang nyala api pada kecepatan 13,17 m/s

Pada gambar diatas, dengan kecepatan 13,17 m/s nyala api yang terjadi cenderung naik keatas sehingga kurang presisi dalam pengambilan data secara horizontal. Pada kecepatan 13,17 m/s didapat panjang nyala yang paling pendek yaitu sebesar  $210 \text{ mm} + 74 \text{ mm} = 284 \text{ mm} = 2,84 \text{ m}$ .

Pada awal pembakaran dari kecepatan 13,17 m/s ini, terlihat bahwa batubara yang belum terbakar (berwarna hitam) semakin tidak terlihat di daerah yang dilewati oleh *swirler air*. Jika dilihat dari data yang ada, hal ini dikarenakan nilai rasio udara - bahan bakar pada kecepatan 13,17 m/s adalah yang paling mendekati stoikiometri yaitu sebesar 1 : 3,528. Hal ini disebabkan oleh menurunnya konsumsi bahan bakar batubara yang masuk kedalam proses pembakaran. Hal ini juga yang menyebabkan panjang nyala tersebut semakin pendek, karena campuran udara - bahan bakar sesuai serta penambahan udara berlebih (*excess air*) yang konstan dapat sesuai dengan kecepatan 13,17 m/s ini.

Pembakaran nyala api pada alat burner mempunyai tiga tahapan chamber yaitu pada chamber I dengan fin yang pertama yang dilewati oleh *swirler air* dengan tujuan penambahan udara agar nyala api lebih besar, kemudian pada chamber II dengan fin yang kedua juga dilewati oleh *swirler air*. Selain untuk menambahkan udara pada proses pembakaran, *swirler air* juga digunakan untuk memperpanjang bertemunya aliran nyala api dan udara saat proses pembakaran sehingga nyala api dan udara dapat homogen sehingga terjadi aliran turbulen serta *swirler air* tersebut dapat digunakan sebagai pendinginan pada permukaan pipa yang dialiri udara tersebut.



Gambar 4.6 Fenomena *open chamber* pada alat burner

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nyala api yang terjadi sangat kompleks dan tidak beraturan, hal ini terjadi karena beberapa faktor yaitu udara sekitar (*ambient air*) yang tidak menentu sehingga penambahan udara pada open chamber tidak diketahui maka nyala api tidak dapat konstan dan lurus secara horizontal.

Jika dianalisa secara teori, pada dasarnya untuk mengetahui panjang nyala kita dapat mengetahui melalui jenis aliran fluida yang mengalir yaitu laminar atau turbulen. kita dapat mengetahui melalui Bilangan Reynolds yaitu rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos. Rumus bilangan Reynolds umumnya diberikan sebagai berikut :



$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Dimana :

Re : Bilangan Reynolds,

V : Kecepatan fluida,

D : Diameter pipa,

$\mu$  : Viskositas absolut fluida dinamis, dan

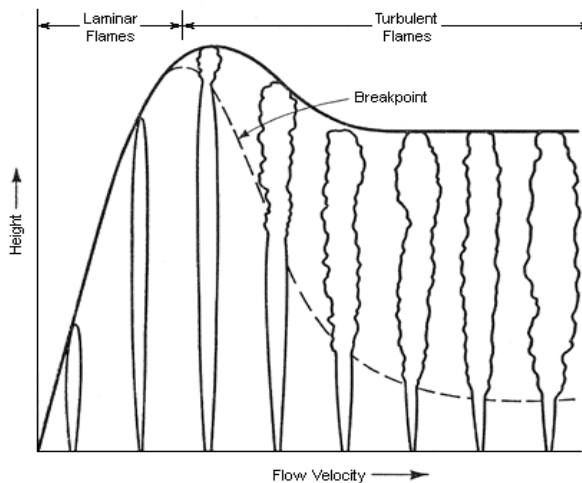
$\rho$  : Kerapatan (densitas) fluida.

sehingga, semakin tinggi kecepatan aliran fluida maka semakin tinggi pula nilai Re (*Reynolds Number*). Sebaliknya, jika kecepatan aliran fluida rendah maka semakin rendah pula nilai Re. Menurut hasil percobaan oleh Reynolds, apabila angka Reynolds kurang daripada 2300, aliran tersebut biasanya merupakan aliran laminar. Apabila angka Reynolds lebih besar daripada 2300, aliran biasanya adalah turbulen. Sedangkan  $\approx 2300$  aliran dapat merupakan laminar atau turbulen (aliran transisi) tergantung pada faktor - faktor yang mempengaruhi. Jika aliran tersebut adalah laminar, maka fluida akan bergerak secara paralel (tidak saling memotong) atau aliran berlapis. Sehingga nyala api yang terjadi akan semakin panjang serta waktu pembakaran pun akan semakin lama. Jika aliran tersebut adalah turbulen, maka fluida akan bergerak secara kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga nyala api akan semakin pendek serta waktu pembakaran akan semakin cepat habis terbakar.

Turbulensi dari suatu aliran tersebut mempengaruhi banyak sedikitnya konsumsi  $O_2$  yang masuk dalam proses pembakaran pada open chamber. Jika semakin banyaknya  $O_2$  yang masuk maka pembakaran pada tiap - tiap luas permukaan partikel batubara akan semakin cepat habis, sehingga waktu batubara saat terbakar untuk setiap partikel akan semakin singkat dan dapat meminimalisir terjadinya gas buang seperti asap, CO, serta batubara yang tidak terbakar.

Nyala api yang horizontal seperti percobaan diatas juga mempengaruhi fenomena panjang nyala api. Seperti dapat dilihat

pada gambar diatas bahwa, semakin tinggi kecepatan alirannya maka panjang nyala api akan panjang lurus kedepan sedangkan semakin rendah kecepatan alirannya maka panjang nyala akan sedikit naik ke atas sehingga panjang nyala api tidak dapat diukur dengan baik dan nilainya tidak akan valid. Sedangkan ketika panjang nyala api saat vertikal, semakin tinggi kecepatan alirannya maka panjang nyala api akan semakin pendek, semakin rendah kecepatan alirannya maka panjang nyala api akan semakin panjang diakibatkan adanya nilai  $Re$  pada suatu aliran panjang nyala tersebut. Dan panjang nyala akan selalu lurus keatas dikarenakan sifat dari udara panas selalu ke arah atas hal tersebut diakibatkan densitas udara panas yang kecil. Maka pengukuran akan lebih presisi dan terukur daripada panjang nyala saat dilakukan pada arah horisontal. Terjadinya transisi dari *laminar flames* ke *turbulent flames* dapat dilihat pada garis *breakpoint* seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.7 Fenomena panjang nyala api vertikal

Tabel 4.4 Laju pembakaran per satuan panjang nyala api

| Kecepatan<br><i>Carrying Air</i> | Laju aliran<br>massa<br>batubara | Panjang<br>Nyala<br>(horizontal) | Laju<br>pembakaran<br>per<br>Panjang<br>nyala api<br>(kg/m.hr) |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| V(m/s)                           | m (kg/hr)                        | L (m)                            |  |
| 17.2                             | 300.626                          | 3.48                             | 86.387   |
| 14.93                            | 229.153                          | 3.24                             | 70.726   |
| 13.17                            | 178.971                          | 2.84                             | 63.018   |

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan kecepatan *carrying air* semakin tinggi, maka konsumsi bahan bakar batubara per satuan panjang nyala akan semakin besar. Hal ini diakibatkan oleh semakin tingginya turbulensi dari nyala mengakibatkan peningkatan masuknya oksigen kedalam nyala api dan pencampuran antara oksigen dan bahan bakar sehingga meningkatkan laju pembakaran. Jadi semakin tinggi kecepatan *carrying air* maka semakin besar konsumsi bahan bakar batubara serta semakin tinggi pula turbulensi nyala tersebut dikarenakan nilai Re yang semakin besar. Sehingga hasil dari panjang nyala akan semakin panjang serta laju pembakaran batubara per panjang nyala api semakin besar. misalnya, pada kecepatan 17.2 m/s dapat dilihat bahwa :

$$\text{laju pembakaran per satuan panjang nyala} = \frac{\text{laju aliran massa batubara}}{\text{Panjang nyala}} = \frac{300.626 \text{ kg/hr}}{3.48 \text{ m}} = 86.387 \text{ kg/hr.m}$$

Perlu diketahui, bahwa laju pembakaran tersebut sangat penting didalam proses *start-up burner*. Pada saat pembakaran pada *furnace* diharapkan tidak adanya gas buang yang terjadi yang mana dapat mengakibatkan kerusakan dalam sistem pembakitan tersebut. Untuk itu, bahan bakar batubara pada proses pembakaran tersebut harus terbakar habis, sehingga ketika proses pendinginan dengan temperatur tertentu tidak ada lagi sisa dari bahan bakar batubara. Dengan laju pembakaran yang semakin

besar, akan menyebabkan berkurangnya gas buang (seperti: asap, CO, batubara yang tidak terbakar) pada saat *start-up burner*. Untuk memperjelas tabel diatas dapat dilihat dari gambar berikut :



Gambar 4.8 Laju pembakaran batubara per satuan panjang nyala api dengan kecepatan 17,2 m/s



Gambar 4.9 Laju pembakaran batubara per satuan panjang nyala api dengan kecepatan 14,93 m/s



Gambar 4.10 Laju pembakaran per satuan panjang nyala api dengan kecepatan 13,17 m/s

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan rancangan alat *coal-oil burner* dengan dimensi yang sesuai dengan variasi kecepatan *carrrying air* 17.2 m/s, 14.93m/s, 13.17 m/s. Dari hasil yang diperoleh sedemikian hingga alat burner tersebut dapat bekerja sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan untuk *start-up* pada boiler di pembangkit. Hasil pengujian yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Rancangan alat *coal-oil* burner memiliki potensi untuk mengembangkan pemanfaatan teknologi dalam proses *start-up* pada boiler yang baik dan efisien.
2. Laju Pembakaran bahan bakar batubara per satuan panjang nyala api yang paling besar adalah 86,387 kg/hr tiap m dengan kecepatan *carrying air* sebesar 17.2 m/s, Hal ini diakibatkan oleh turbulensi nyala api. Semakin tinggi kecepatan *carrying air* maka semakin besar konsumsi bahan bakar batubara serta semakin tinggi pula turbulensi yang terjadi. Turbulensi mengakibatkan peningkatkan masuknya udara ke dalam nyala sehingga memperbaiki proses pembakaran.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah penelitian dan diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dikarenakan pada saat pengujian banyak terjadi kerugian ataupun kebocoran – kebocoran aliran udara sehingga data – data yang diambil kurang akurat. Diharapkan seluruh dinding pada pipa aliran dapat ditutup dengan baik sehingga alat *coal-oil* burner dapat bekerja dengan maksimal dan efisien.
2. Perlu adanya pengukuran temperatur saat proses pembakaran, sehingga indikator performance dari burner

dapat lebih diketahui dengan baik untuk digunakan dalam proses *start-up boiler*.

3. Pada percobaan diperlukan kecepatan carrying air sebesar 19 m/s agar mendapatkan hasil sesuai dengan target yang ada pada PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton.
4. Untuk memudahkan proses pengukuran diperlukan pengujian didalam ruangan sehingga nyala api yang terjadi tidak terpengaruh oleh udara luar dan data yang diambil dapat lebih akurat.

## LAMPIRAN

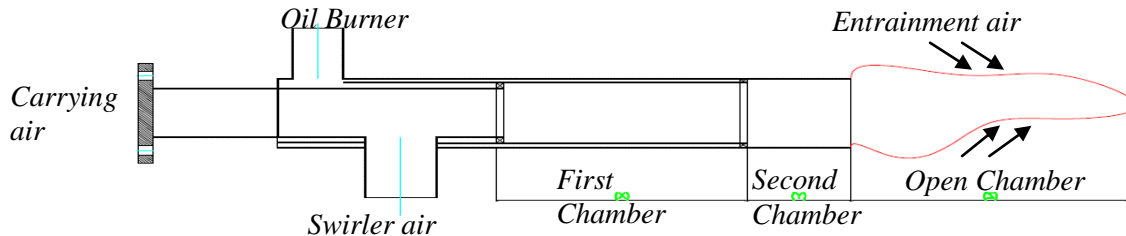
**Tabel 1.** Total Laju Aliran Massa Udara

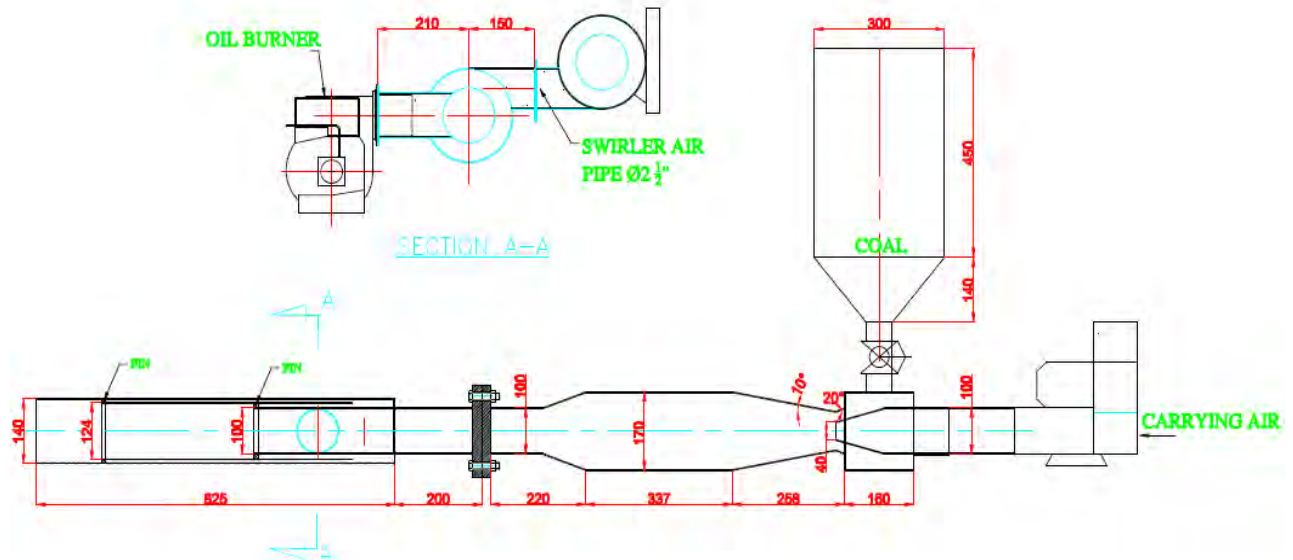
| Kecepatan<br><i>Carrying Air</i> | Debit<br>aliran<br><i>Carrying Air</i> | Laju aliran massa<br><i>Carrying Air</i> |                   | Laju aliran massa<br><i>Swirler Air</i> |                   | 5%<br><i>excess air oil burner</i> | Total<br>$\dot{m}$ udara | Kebutuhan<br>udara<br>Stoikiometri |
|----------------------------------|--|--|-------------------|---|-------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| V(m/s)                           | Q (m <sup>3</sup> /s)                  | $\dot{m}$ (kg/s)                         | $\dot{m}$ (kg/hr) | $\dot{m}$ (kg/s)                        | $\dot{m}$ (kg/hr) | $\dot{m}$ (kg/hr)                  | $\dot{m}$ (kg/hr)        | $\dot{m}$ (kg/hr)                  |
| 17.2                             | 0.135                                  | 0.149                                    | 536.040           | 0.061                                   | 218.511           | 2.540                              | 757.091                  | 1959.482                           |
| 14.93                            | 0.117                                  | 0.129                                    | 465.295           |   |                   |                                    | 686.346                  | 1493.622                           |
| 13.17                            | 0.103                                  | 0.114                                    | 410.445           |   |                   |                                    | 631.496                  | 1166.532                           |



**Tabel 2. Konsumsi Bahan Bakar Batubara**

| Kecepatan<br><i>Carrying<br/>Air</i> | Laju aliran massa<br>Batubara |                   | Waktu<br>habis<br>Batubara | AFR<br><br>(Sebelum + $\dot{m}$ Swirler Air<br>+ 5% excess<br>air oil<br>burner) | AFR<br><br>(Setelah + $\dot{m}$ Swirler Air +<br>5% excess<br>air oil<br>burner) | Panjang<br>Nyala<br>(horizontal) | Laju<br>Pembakaran<br>per<br><br>panjang<br>nyala api<br>(kg/m.hr) |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|--|--|----------------------------------|--|
| V(m/s)                               | $\dot{m}$ (kg/s)              | $\dot{m}$ (kg/hr) | s(dtk)                     |  |  | L (m)                            |  |
| 17.2                                 | 0.084                         | 300.626           | 23.95                      | 1.783  | 2.518  | 3.94                             | 76.301   |
| 14.93                                | 0.064                         | 229.153           | 31.42                      | 2.030  | 2.995  | 3.54                             | 64.733   |
| 13.17                                | 0.050                         | 178.971           | 40.23                      | 2.293  | 3.528  | 2.84                             | 63.018   |





Gambar 1. Desain Rancangan *Coal-Oil Burner*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moran, Michael J., Shapiro, Howard N. 2006. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics Fifth Edition**. The Ohio State University. Jhon Willey & Sons. England
- [2] Fox, R.W., Mc Donald A.T., and Pritchard P.J. 2011. **Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition**. Purdue University. Jhon Willey & Sons. United States of America
- [3] Sumarsono, Erwan. 2010. **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Arah Double Axial Swirler Searah dan Berlawanan Arah pada Pola Aliran Kecepatan Udara Pembakaran Gas Flame Burner**. FTI - ITS, Jurusan Teknik Mesin.
- [4] Syaifurrahman, Muhammad. 2010. **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Arah Double Axial Swirler Searah dan Berlawanan Arah pada Distribusi Temperatur Nyala Api Gas Flame Burner**. FTI - ITS, Jurusan Teknik Mesin.
- [5] Herlambang, Awan Yudi. 2010. **Studi Eksperimental Pengaruh Arah Double Axial Swirler pada Gas Flame Burner pada Pembentukan Soot**. FTI – ITS, Jurusan Teknik Mesin.
- [6] Riyanto, Sugeng. 2009. **Uji Kualitas Fisik dan Uji Kinetika Pembakaran Briket Jerami Padi Dengan dan Tanpa Bahan Pengikat**. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Jurusan Teknik Mesin.

- [7] Liu Chunlong, Li Zhengqi, Kong Weiguang, Zhao Yang, Chen Zhichao. 2010. **Bituminous Coal Combustion in a Full-scale Start-Up Ignition Burner : Influence of The Excess Air Ratio**. School of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology. China

## RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan di Manado 30 September 1990, dari Ayahanda Nuratmadji dan Ibunda Erry Indrawati, anak ketiga dari tiga bersaudara. Sepanjang 20 tahun ini, penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Islamic Centre Manado, SDN 02 Manado, setelah lulus SD kemudian penulis berpindah tempat di kota Semarang dan menempuh pendidikan di SMPN 12 Semarang, dan SMAN 9 Semarang.

Setelah lulus SMAN, pada tahun 2008 penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi D3 Teknik Mesin ITS Surabaya kemudian lulus dengan nilai yang sangat memuaskan. Di Jurusan D3 Teknik Mesin, penulis mengambil bidang keahlian Konversi Energi dan mengambil tugas akhir dibidang yang sama dengan mata kuliah perpindahan panas yaitu tentang Solar Energy. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. PETROKIMIA GRESIK. Ketertarikan penulis di bidang keorganisasian, mendorongnya untuk aktif di berbagai organisasi. Antara lain HMDM (Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin) sebagai Kepala Divisi Kreasi dan Inovasi. Penulis juga aktif mengikuti pelatihan-pelatihan di lingkup kemahasiswaan ITS.

Setelah lulus dari program studi D3 Teknik Mesin ITS, pada tahun 2011 penulis mengikuti ujian masuk Lintas Jalur jurusan Teknik Mesin ITS dan diterima sebagai Mahasiswa Lintas Jalur Teknik Mesin ITS dengan NRP 2111.106.008. Sebelum mengikuti ujian masuk Lintas Jalur tersebut, penulis mengikuti

bimbingan belajar bahasa inggris di kota Pare - Kediri, dengan tujuan agar dapat berbicara bahasa inggris dengan lancar karena penulis berkeinginan untuk mencari ilmu dan bekerja diluar negeri. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini :

[ado\\_skat90@yahoo.co.id](mailto:ado_skat90@yahoo.co.id)

[aldo.nursatria@gmail.com](mailto:aldo.nursatria@gmail.com)